



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA OHÝBANÉHO PROFILU SDRUŽENÝM NÁSTROJEM

THE BEND PROFILE MANUFACTURING BY COMBINATION DIES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MICHAL KUMMER

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MICHAELA CÍSAŘOVÁ

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Michal Kummer

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Výroba ohýbaného profilu sdruženým nástrojem

v anglickém jazyce:

The bend profile manufacturing by combination dies

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Téma diplomové práce je zaměřeno na výrobu profilu z ocelového plechu, pravidelného tvaru s kruhovými otvory. Součást bude vyráběna technologií stříhání a ohýbání. V práci by měl být navržen postup výroby profilu včetně návrhu nástroje a lisovacího stroje.

Cíle diplomové práce:

Vypracování aktuální literární studie se zaměřením na technologii stříhání a ohýbání se zhodnocením výroby součástí podobných tvarů. Návrh vhodné technologie a vypracování postupu výroby profilu, provedení technologických a kontrolních výpočtů, návrh sestavy nástroje, technicko-ekonomické hodnocení a závěr.

Seznam odborné literatury:

1. NOVOTNÝ, K. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
2. FOREJT, M. a PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 226 s. ISBN 80-214-2374-9.
3. BOLJANOVIC, V. Sheet metal forming processes and die design. 1. vyd. New York: Industrial Press, 2004. 220 s. ISBN 0-8311-3182-9.
4. NOVOTNÝ, J., LANGER, Z. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Brno: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s. L 13–B3-IV- 41/22674.
5. FREMUNT, P., KREJČÍK, J. a PODRÁBSKÝ, T. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Michaela Císařová

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 25.11.2010

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá návrhem technologického postupu výroby regálové spojky z materiálu 11 321, vyráběné technologiemi stříhání a ohýbání. Práce popisuje rozbor problematiky stříhání a ohýbání, výpočet a návrh výrobního nástroje a následnou volbu lisovacího stroje.

Součástí diplomové práce je výkres sestavení, poskytující náhled na výrobní nástroj, výrobní výkres ohybníků a ohybnicí a výkres regálové spojky.

Klíčová slova

Stříhání, ohýbání, střížná síla, ohýbací síla.

Abstract

This diploma thesis describes the creation of the technological process for shelf clutch production.

The shelf clutch will be made of material 11 321 by cutting and bending technologies. The first part of thesis includes the theoretical description of cutting and bending technologies. The second part contains calculations and design proposal of final combined cutting and bending tool and also selection of pressing machine.

The thesis contains the unit block layout of the combined cutting and bending tool and detailed drawings of cutting and bending parts of the tool. The shelf clutch drawing is included too.

Keywords

Cutting, bending, cutting force, bending force.

Bibliografická citace práce

KUMMER, Michal. *Výroba ohýbaného profilu sdruženým nástrojem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 52 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Michaela Císařová.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušil autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 19. 5. 2011

.....
podpis

Poděkování

Děkuji Ing. Michaele Císařové za pomoc a konzultace při tvorbě diplomové práce. Dále děkuji firmě ANTREG, a. s. za spolupráci a podporu při konstrukci nástroje.

Obsah

ZADÁNÍ

ABSTRAKT

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE PRÁCE

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

PODĚKOVÁNÍ

OBSAH

1	ÚVOD	11
2	TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ.....	12
2.1	Napjatost a deformace procesu stříhání.....	13
2.2	Střížná síla	14
2.3	Střížná práce.....	15
2.4	Střížný odpor	16
2.5	Střížná vůle.....	17
2.6	Umístění stopky nástroje.....	18
2.7	Nástřihové plány	19
2.8	Technologičnost konstrukce a výroby stříhaných součástí	19
2.9	Nástroje pro stříhání	21
2.10	Funkční části střížných nástrojů	22
3	TECHNOLOGIE OHÝBÁNÍ.....	24
3.1	Napjatost a deformace procesu ohýbání.....	25
3.2	Odpružení po ohybu	25
3.3	Minimální a maximální poloměr ohybu	27
3.4	Neutrální vrstva	28
3.5	Stanovení rozměrů ohýbaných součástí	29
3.6	Zúžení.....	30
3.7	Ohýbací síly	30
3.8	Ohýbací práce.....	31
3.9	Vůle mezi pevnou a pohyblivou čelistí	31
3.10	Technologičnost konstrukce ohýbaných součástí	32
3.11	Přesnost při ohýbání	33
3.12	Nástroje pro ohýbání	33
3.13	Funkční části ohýbacích nástrojů	34
4	STROJE PRO STŘÍHÁNÍ A OHÝBÁNÍ.....	35
5	NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY	36
5.1	Nástřihový plán	36
5.2	Výpočet rozvinuté délky součásti	36
5.3	Technologické výpočty	37
5.4	Kontrolní výpočty	43
5.5	Ekonomické využití materiálu	45
5.6	Výpočet spotřeby materiálu	47
5.7	Ekonomické hodnocení	47
5.7.1	Náklady na potřebný materiál.....	47
5.7.2	Náklady na mzdy	48

5.7.3	<i>Náklady na energii</i>	49
5.7.4	<i>Cena nástroje</i>	49
5.7.5	<i>Cena vyráběné součásti</i>	49
5.7.6	<i>Bod zvratu</i>	50
5.8	Návrh stroje	51
6	ZÁVĚR	52
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		
SEZNAM PŘÍLOH		

1 Úvod

Zpracování kovů a plastů představuje soubor technologií, kterými lze účelně a ekonomicky zhotovit požadované součásti. Mezi tyto technologie patří tváření, obrábění, svařování aj.

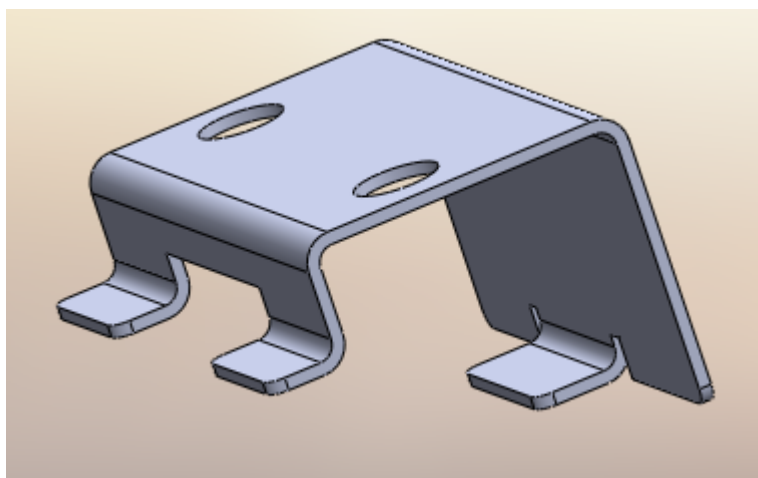
Hlavním cílem této diplomové práce je návrh výrobního nástroje pro výrobu plechového výlisku, který se bude vyrábět na sdruženém nástroji technologiemi stříhání a ohýbání.

Práce by se dala rozdělit do dvou dílčích částí a to na část teoretickou a část praktickou, přičemž informace a závěry z teoretické části nezbytně prolínají do části praktické, kde se reálně uplatňují.

Technologicky první operací výroby je stříhání, jejíž teoretickými základy se zabývá druhá kapitola této práce, kde je shrnuta metodika výpočtů a další, nejen pro tuto práci nezbytné informace z oboru stříhání materiálu. V obdobném duchu následuje kapitola třetí, zabývající se technologií ohýbání.

V poslední kapitole teoretické části práce jsou shrnuty přednosti a nevýhody jednotlivých druhů lisovacích strojů a jejich vhodnost pro využití v konkrétním případě, kterým se zabývá tato práce.

Praktická část diplomové práce začíná již vlastním návrhem technologie výroby, tedy konkrétně vytvořením nástřihového plánu. Následují technologické a kontrolní výpočty, ekonomické hodnocení, návrh lisovacího stroje a vlastní návrh sdruženého nástroje. Závěry výpočtů byly aplikovány do výkresové dokumentace, která tvoří přílohou část na konci této práce.

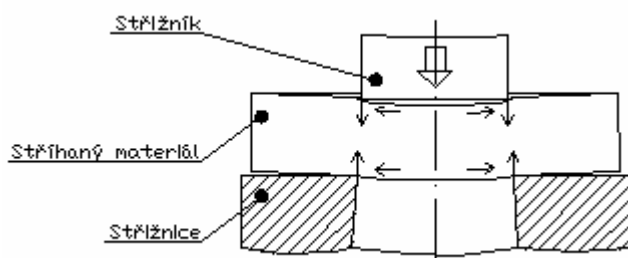


Obr. 1.1 3D model řešené součásti

2 Technologie stříhání

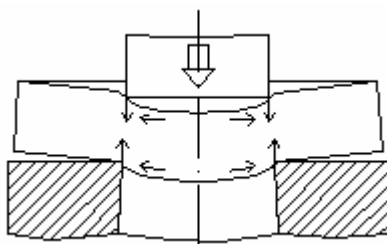
Stříhání je základní operací postupného nebo současného dělení materiálu, která je ukončena porušením – lomem stříhaného materiálu v ohnisku deformace. Dělení materiálu se uskutečňuje podél křivky stříhu, která je dána relativním pohybem dvou břitů. [8]

Průběh stříhání je možné rozdělit na tři základní fáze. V první fázi stříhání dochází při vnikání střížníku do materiálu k pružné deformaci stříhaného materiálu, přičemž napětí ve tvářeném kovu je menší než mez pružnosti. Hloubka vniku střížníku závisí především na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu a dosahuje $(5 \div 8) \%$ tloušťky tohoto materiálu (obr. 2.1).



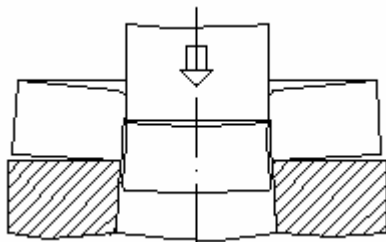
Obr. 2.1 První fáze stříhání [8]

Ve druhé fázi napětí ve stříhaném materiálu přesahuje mez kluzu a dochází k jeho trvalé plastické deformaci. Hloubka vniku střížníku se pohybuje v rozmezí $(10 \div 25) \%$ tloušťky tvářeného materiálu (obr. 2.2).



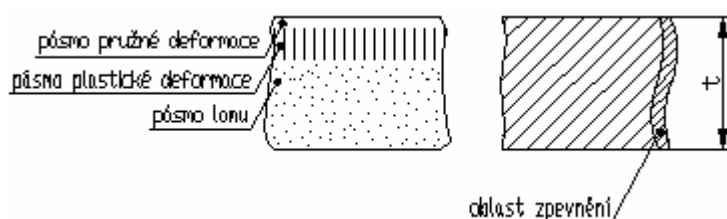
Obr. 2.2 Druhá fáze stříhání [8]

Ve třetí fázi napětí ve stříhaném materiálu přesáhne mez pevnosti ve stříhu. U hran střížníku a střížnice dochází ke vzniku trhlinek, které se rychle šíří až dojde k oddělení výstřížku. Mechanické vlastnosti stříhaného materiálu a velikost střížné vůle ovlivňují rychlost vzniku a postupu trhlín. [1] K rychlému oddělení dochází u tvrdých a křehkých materiálů při malém vniknutí střížných hran do stříhaného materiálu, vniknutí je 10% tloušťky. Pomalé oddělení nastává u měkkých a houževnatých materiálů, kde hloubka vniknutí střížníku dosahuje až 60% tloušťky materiálu (obr. 2.3).[8]



Obr. 2.3 Třetí fáze stříhání [8]

Vznikající trhliny mezi hranami střížníku a střížnice postupují a setkávají se uprostřed stříhaného materiálu a tvoří střížnou plochu. V jejím okolí se dělený materiál trvale deformuje a tato deformace vede ke zpevnění materiálu a ke snížení jeho tvárnosti v oblasti této plochy (obr. 2.4). V případě, kdy se hrany funkčních částí nástroje nesetkají přesně svými čely, vznikne tříska nebo dojde k vytvoření zátrhu na povrchu střížné plochy. [2] Přesnost a kvalita střížné plochy závisí na mnoha činitelích, především na velikosti střížné mezery, vlastnostech stříhaného materiálu, na kvalitě střížného nástroje, na způsobu stříhání aj.[7] Dosahované hodnoty tolerance přesnosti a drsnosti povrchu střížné plochy jsou v tab. 2.1 a v tab. 2.2.



Obr. 2.4 Tvar střížné plochy [8]
t – tloušťka stříhaného materiálu [mm]

Tab. 2.1 Dosahované přesnosti procesu stříhání [18]

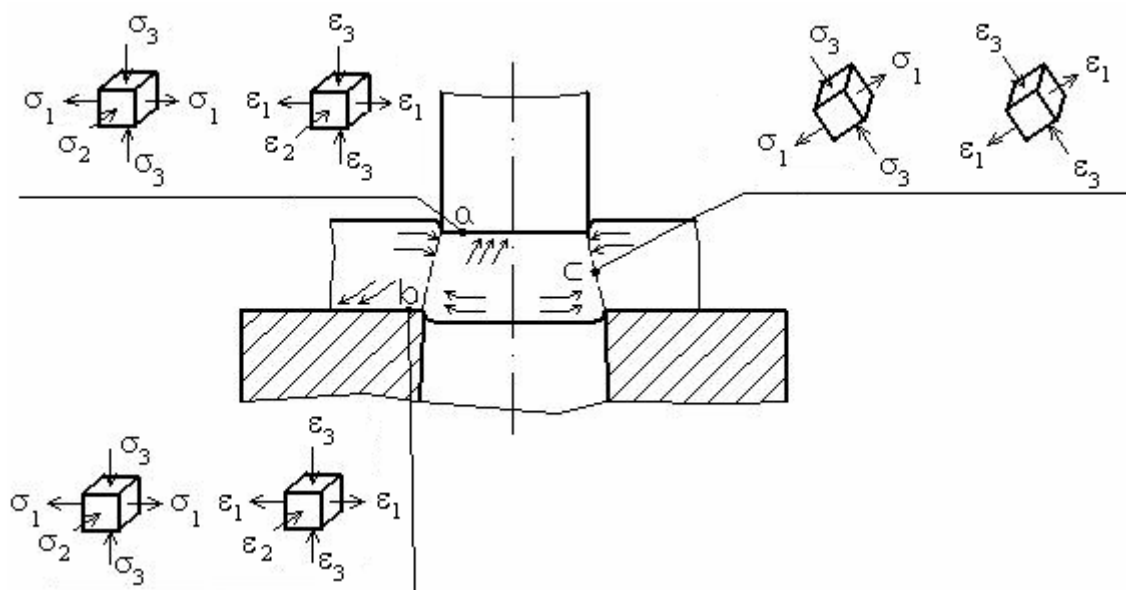
Příklady stříhání	Dosahovaná přesnost
plechy o tloušťce do 4 mm a rozměrech menších jak 200 mm	IT 12 ÷ IT 14
stříhadla s vyšší přesností, s vodíci stojánky a s přidržovači stříhaného materiálu v okamžiku stříhání	IT 9 ÷ IT 11
speciální stříhadla pro přesné stříhání	IT 6 ÷ IT 8

Tab. 2.2 Dosahovaná drsnost povrchu střížné plochy [18]

Způsob stříhání	Drsnost povrchu
vystříhování	$Ra = 6,3 \div 3,2$
děrování	$Ra = 1,6 \div 6,3$

2.1 Napjatost a deformace procesu stříhání

Na obr. 2.5 jsou znázorněna schémata napjatosti a deformace při běžném uzavřeném stříhání. Pod hranou střížníku v oblasti „a“ vzniká při střížném procesu nestejnorodá prostorová napjatost definována dvěma tlakovými napětími a jedním napětím tahovým. Této napjatosti odpovídá prostorová a nestejnorodá deformace. Těsně nad střížnicí v oblasti „b“ vzniká stejně jako v oblasti „a“ napjatost a deformace, které jsou prostorové a nestejnorodé. V oblasti „c“, ve které se stříhaný materiál odděluje podél plochy stříhu, vzniká nestejnorodá rovinná napjatost a deformace s jedním tlakovým napětím a jedním tahovým napětím. [1]



Obr. 2.5 Schémata napjatosti a deformace [1]

V bodech nacházejících se těsně u střižných hran střižníku a střižnice je největší tahové hlavní napětí σ_1 dáno vztahem $\sigma_1 = \tau_{ps} = 0,8 \cdot R_m$. Hlavní tlakové napětí zde odpovídá přibližně polovině tahového napětí. Poměr hlavních tlakových a tahových napětí se směrem do středu střižné plochy mění a uprostřed této plochy platí, že velikost tahového napětí je rovno tlakovému napětí, tedy $\sigma_1 = |-\sigma_3|$ a tím jsou splněny podmínky prostého smyku, kdy napětí σ_2 je rovno nule.

kde: σ_1 – hlavní tahové napětí [MPa]

τ_{ps} – pevnost materiálu ve stříhu [MPa]

R_m – mez pevnosti materiálu v tahu [MPa]

σ_3 – hlavní tlakové napětí [MPa] [8]

2.2 Střižná síla

Pro stříhání ve stříhadlech je důležitá správná volba lisu. K zabránění poškození lisu je nutné, aby nedošlo k překročení jeho jmenovité síly. K tomu je třeba znát velikost a průběh střižné síly. Hodnota střižné síly se mění v průběhu pracovního zdvihu. V jakémkoliv okamžiku je dána součinem dvou proměnných veličin a to součinem střižného odporu a střižné plochy.[2] Dle obr. 2.6 je znatelný nárůst střižné síly do maximální hodnoty, při kterém nastává první porušení stříhaného materiálu a následný pokles této síly.[1] Je-li potřeba snížit velikost střižné síly, mohou se provést různé konstrukční úpravy např. zkosené střižníky (obr. 2.7 a) používané pro děrování nebo zkosené střižnice pro vystřihování (obr. 2.7 b). Dále se mohou použít stupňovitě uspořádané střižníky pro děrování nebo vystřihování více otvorů či součástí na jeden zdvih lisu (obr. 2.8).[19]

Výpočet střižné síly F_S [13]:

$$F_S = n \cdot S \cdot \tau_{ps} = n \cdot l \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m \quad [\text{N}] \quad (1)$$

kde: F_s – střižná síla [N]

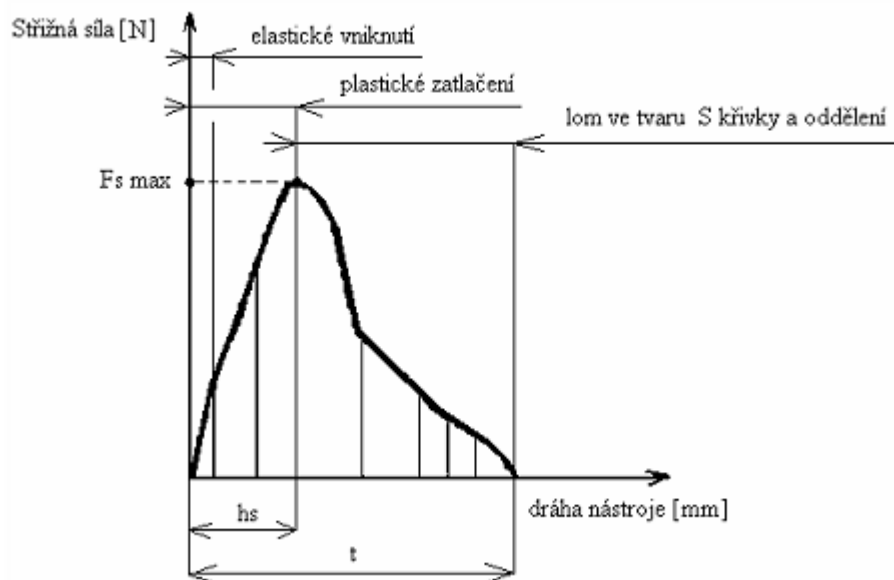
n – koeficient zahrnující opotřebení nástroje [-], $n = 1,15 \div 1,3$

S – plocha stříhu [mm²]

l – délka stříhu (obvod všech stříhaných částí) [mm]

t – tloušťka stříhaného materiálu [mm]

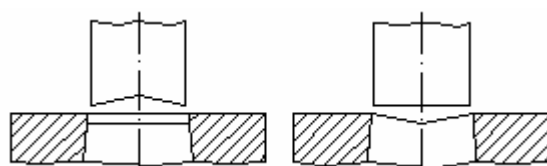
Charakteristický průběh střižné síly je uveden na obr. 2.6.



Obr. 2.6 Průběh střižné síly [8]

h_s – maximální hloubka vniknutí střižníku, při které dochází k úplnému porušení materiálu lomem [mm],
 t – tloušťka stříhaného materiálu [mm], $F_{s_{max}}$ – max. střižná síla [N].

Možné způsoby snížení střižné síly jsou na obr. 2.7 a,b a na obr.2.8.



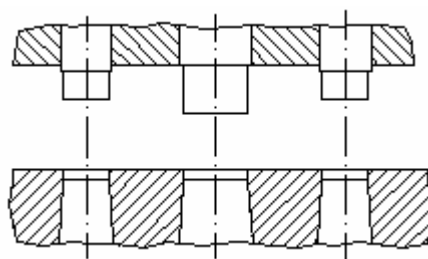
a)

b)

Obr. 2.7 Úprava střižných hran [19]

a) schéma zkoseného střižníku

b) schéma zkosené střižnice



Obr. 2.8 Odstupňování střižníků [19]

2.3 Střižná práce

Střižná práce nezbytná pro vystřížení součásti z materiálu je přímo úměrná střižné síle a hloubce vtlačení střižníku do materiálu. Její velikost je dána plochou pod křivkou průběhu střižné síly (obr. 2.6).

Výpočet střížné práce:

$$A_S = k \cdot F_S \cdot t \quad [\text{J}] \quad (2)$$

kde: k – koeficient hloubky vtlačení, závislý na druhu a tloušťce materiálu [mm] [2]

2.4 Střížný odpor

Střížný odpor je schopnost stříhaného materiálu odolávat svému oddělení. Jeho hodnota je závislá na mnoha faktorech, zejména na mechanických vlastnostech jako je pevnost, s jehož rostoucí hodnotou se hodnota střížného odporu zvyšuje. Dále na tloušťce materiálu a délce křivky stříhu, s jejíž rostoucími hodnotami se střížný odpor zmenšuje. Významně ovlivňuje střížný odpor také velikost střížné vůle, při jejíž optimální velikosti se dosahuje nejmenšího odporu. Také mají na velikost střížného odporu vliv podmínky stříhání, jako je rychlost stříhání, kdy hodnota odporu roste při zvyšování rychlosti stříhání, hodnota velikosti tření, mazání, při jehož aplikaci odpor klesá, chlazení a stav střížných hran nástroje. [2]

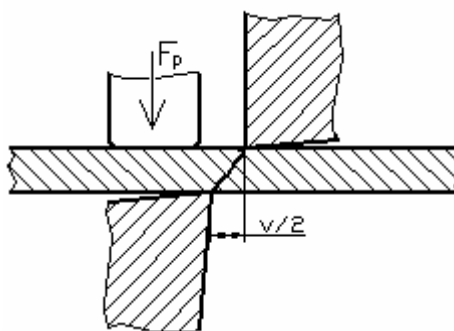
Praktické hodnoty střížného odporu pro oceli jsou uvedeny v tab. 2.3.

Tab. 2.3 Příklady hodnot střížného odporu [2]

Druh oceli	Označení oceli ČSN	Střížný odpor [MPa]	Pevnost v tahu [MPa]	Tažnost [%]
Uhlíkové obvyklé jakosti	10 340	280 ÷ 360	340 ÷ 420	23 ÷ 25
	10 370	320 ÷ 400	370 ÷ 450	18 ÷ 20
	10 422	360 ÷ 450	420 ÷ 500	18 ÷ 20
	11 500	440 ÷ 530	500 ÷ 600	15 ÷ 17
Uhlíkové s nízkým obsahem C	11 301.20	240 ÷ 330	280 ÷ 380	33
	11 321.20	240 ÷ 330	280 ÷ 380	33
	11 331.3	240 ÷ 340	280 ÷ 400	23 ÷ 26
Uhlíkové tvářené za studena	11 340.22	290 ÷ 400	340 ÷ 460	14
	11 340.25	520 ÷ 700	600 ÷ 800	3
	11 341.20	240 ÷ 340	280 ÷ 400	26
Uhlíkové ušlechtilé	12 000.20	700	max. 800	24
	12 010.1	300	min. 340	
	12 020.20	330 ÷ 440	380 ÷ 500	
	12 041.20	390 ÷ 520	450 ÷ 600	
	12 061.1	min. 540	min. 620	
	12 071.20	480 ÷ 600	550 ÷ 700	
Slitinové ušlechtilé	13 180.20	700	max. 800	14
	14 160.0	820	950	
	14 220.30	560	max. 650	
Korozivzdorné	17 021.3	470	550	
	17 041.21	600	700	

2.5 Střížná vůle

Střížná vůle je dána rozdílem mezi rozměrem střížnice a střížníku. Jednostranný rozdíl dává střížnou mezeru. Aby bylo zaručeno správné usmyknutí střížné plochy, je nutné, aby se trhliny vzniklé při stříhání setkaly. Toho je docíleno správnou velikostí střížné vůle. Zmenšováním rozměru střížníku se vytváří střížná vůle pro stříhání přesného vnějšího tvaru výstřížku, zatímco pro děrování otvorů se vytváří střížná vůle zvětšováním rozměru střížnice. Je-li střížná vůle nerovnoměrně rozložená po délce křivky stříhu, vznikají povrchové vady a otřepy, které jsou příčinou nekvalitní střížné plochy. Otřepy mohou vzniknout i při otupení břitů střížníku a střížnice. Otupením na střížníku se vytváří otřep na vystřížené součásti, otupením na střížnici vzniká otřep kolem vyděrovaného otvoru. Pokud je otupen břit střížníku i střížnice, vznikají otřepy jak na vystřížené součásti, tak i na vyděrovaném otvoru. Velikost střížné vůle závisí na mnoha faktorech, zejména na druhu stříhaného materiálu a jeho tloušťce. [2] Pro stříhání měkkých materiálů se volí menší střížná vůle, zatímco pro stříhání pevnějších materiálů a materiálů o větší tloušťce se střížná vůle zvětšuje. Velikost střížné vůle se vlivem opotřebení nástroje zvětšuje. [1]



Obr. 2.9 Tvar střížné plochy pro správnou střížnou vůli [2]

Výpočet střížné vůle v :

$$v = 2 \cdot m \quad [\text{mm}] \quad (3)$$

kde: m – střížná mezera [mm]

Pro plechy tloušťky $t \leq 3\text{mm}$ platí:

$$v = c \cdot t \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_{ps}} \quad [\text{mm}] \quad (4)$$

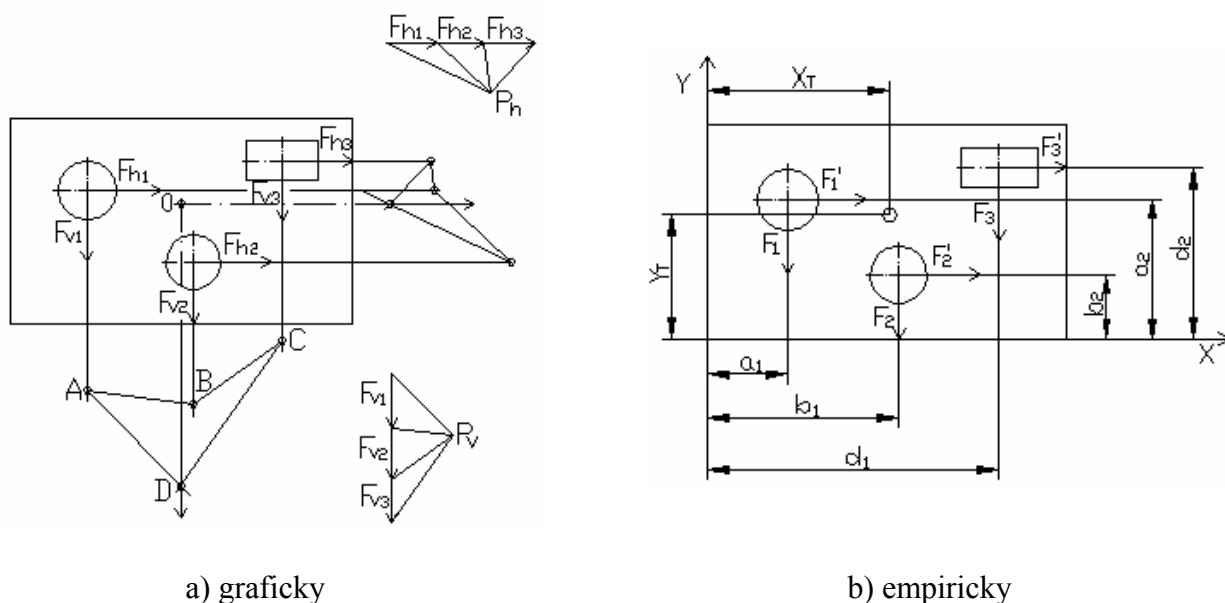
Pro plechy tloušťky $t > 3\text{mm}$ platí:

$$v = 0,32 \cdot (1,5 \cdot c \cdot t - 0,15) \cdot \sqrt{\tau_{ps}} \quad [\text{mm}] \quad (5)$$

kde: c – součinitel závislý na druhu stříhání [-], $c = 0,005 \div 0,025$, k získání kvalitnějšího povrchu se volí nižší hodnoty tohoto součinitele, vyšší hodnoty se volí, požaduje-li se co nejmenší hodnota střížné síly [2]

2.6 Umístění stopky nástroje

Pro zjištění polohy stopky je zapotřebí stanovit těžiště střížných sil. Podmínkou při stříhání na postupových stříhadlech je, aby výslednice střížných sil působila v ose lisu, jinak by došlo k zatížení beranu lisu značným klopným momentem, který by způsobil zmenšení přesnosti výstřižků, snížení životnosti nástrojů a také dřívější opotřebení beranu lisu. Působíště silové výslednice je možné zjistit výpočtem nebo graficky. Výpočtová metoda je dána podmínkou, kdy se vychází z rovnovážného stavu, u kterého je součet momentů sil ke zvolené přímce roven nule. U grafického řešení se těžiště střížných sil stanoví průsečíkem silové výslednice ve směru vertikálním a horizontálním (obr. 2.10). Silová výslednice ve směru vertikálním se stanoví tak, že na půdorysu daného nástroje se v těžištích stříhaných otvorů vynesou velikosti střížných sil ve vertikálním směru. Mimo půdorys se zvolí bod P_V , který se označuje jako pól, vedle kterého se na svislou přímku nanesou postupně jednotlivé vertikální síly. Následným spojením počátků a konců nanesených sil s pólem P_V dává pólový obrazec. Na vynesených směrech působících sil se ve směru síly F_{V1} zvolí libovolně bod A, ze kterého vedeme rovnoběžku z pólového obrazce, která spojuje pól P_V a koncový bod síly F_{V1} . V místě, kde rovnoběžka protne směr síly F_{V2} dostáváme bod B, ze kterého se opět vynesou rovnoběžka spojující bod P_V s koncovým bodem F_{V2} a která protne vynesení směr síly F_{V3} v bodě C. Následným spojením bodu C s rovnoběžkou spojující bod P_V a koncový bod síly F_{V3} a spojením bodu A s rovnoběžkou spojující bod P_V s počátkem síly F_{V1} se dostane bod D, kterým prochází výslednice vertikálních sil. Pro zjištění výslednice sil ve směru horizontálním se postupuje obdobně a průsečík obou těchto výslednic dává hledané těžiště – působíště střížných sil.



Obr. 2.10 Určení těžiště sil [19]

F_{v1}, F_{v2}, F_{v3} – střížné síly ve směru vertikálním [N], F_{h1}, F_{h2}, F_{h3} – střížné síly ve směru horizontálním [N], P_v, P_h – pól [-], F_1, F_2, F_3 – střížné síly v ose y [N], F'_1, F'_2, F'_3 – střížné síly v ose x [N], X_T, Y_T – souřadnice výslednice sil [mm]

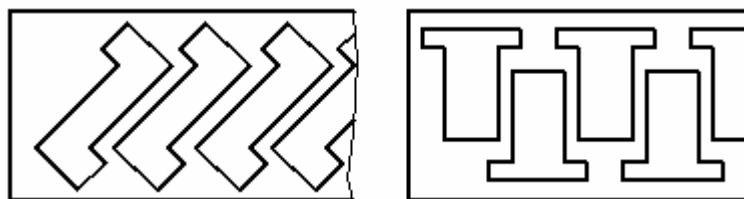
Pro empirický výpočet dle obr. 2.10 plyne:

$$X_T = \frac{F_1 \cdot a_1 + F_2 \cdot b_1 + F_3 \cdot d_1}{F_1 + F_2 + F_3} \quad [\text{mm}] \quad (6)$$

$$Y_T = \frac{F_1^I \cdot a_2 + F_2^I \cdot b_2 + F_3^I \cdot d_2}{F_1^I + F_2^I + F_3^I} \quad [\text{mm}] \quad [19] \quad (7)$$

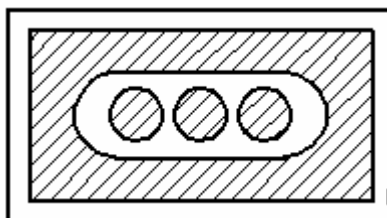
2.7 Nástřihové plány

Vhodné rozmístění výstřížků na pásu plechu tvoří nástřihový plán, při jehož tvorbě je snaha, aby vzniklý odpad byl co nejmenší. Při vytváření nástřihového plánu se vychází z tvaru a konstrukce výstřížku, dále ze vzdáleností mezi jednotlivými výstřížky a ze vzdáleností výstřížků od okraje pásu plechu při dodržování zásad konstrukce. [14]



Obr. 2.11 Příklady nástřihových plánů [20]

V praxi při výrobě součástí je možné umístit do částí, které představují odpad, další vedlejší výrobky a tím uspořit ztrátu materiálu tvořenou odpadem. Na obr. 2.12 je znázorněn případ, ve kterém šrafované části představují výrobky. Nejdříve se vystříhnou tři vnitřní kruhové součásti v místě, které představuje odpad, dále následuje vystřížení tohoto odpadu a nakonec vystřížení hlavního obdélníkového výrobku.



Obr. 2.12 Možné řešení nástřihového plánu

2.8 Technologičnost konstrukce a výroby stříhaných součástí

K zajištění technologičnosti výroby výstřížků je nezbytné splnit takové požadavky, které zaručují nejvhodnější a nejehospodárnější výrobu dané součásti. K tomu je důležitý i dokonale vypracovaný technologický postup výroby.

K nejdůležitějším parametrům technologičnosti výroby patří:

- minimální počet zejména pracných operací,
- minimální počet výrobních strojů a výrobních ploch,
- nejnižší náklady potřebné k pořízení potřebného náradí s krátkou dobou jejich výroby a s dostatečnou životností,
- vysoká produktivita práce,
- nízká kvalifikace pracovníků.

Technologičnost konstrukce výstřížků je významným předpokladem správného technologického postupu a má výrazný vliv na hospodárnost výroby.

Technologičnost konstrukce má uznávat činitele, které mají vliv na proces stříhání:

- nedokonalost procesu stříhání (drsnost atd.),
- mechanická pevnost stříhaného materiálu a funkčních dílů střížného nástroje,
- výrobní možnost střížného nástroje.

Pro zajištění plynulé a ekonomické výroby výstřížků je nezbytné dodržovat tyto zásady:

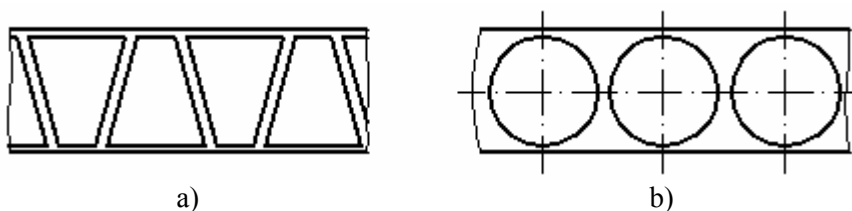
- nezmenšovat tolerance vnějších rozměrů, otvorů a jejich roztečí,
- dávat přednost kruhovým otvorům z hlediska levnější výroby,
- nepředepisovat drsnost střížné plochy, drsnost ustřižené plochy odpovídá zhruba drsnosti hřbetu břitů,
- nepředepisovat kolmost střížné plochy,
- předepisovat jen nezbytnou rovinnost,
- velikost stříhaných otvorů je závislá na tloušťce a druhu materiálu, dále na konstrukci a typu stříhadla,
- vzdálenost otvorů od okraje výstřížku nebo mezi otvory je uvedena v příloze č. 1,
- minimální šířka štíhlých výstřížků a šířka vyčnívajících částí nemá být menší jak 1,5 tloušťky stříhaného materiálu,
- rohy na výstřížku mají být zaobleny nebo sraženy,
- v závislosti na pevnosti stříhaného materiálu je možné doporučit nejmenší úhel rohu:

$$\sigma_p = 600 \text{ MPa} \quad \alpha = 90^\circ,$$

$$\sigma_p = 300 \text{ MPa} \quad \alpha = 60^\circ,$$

$$\sigma_p = 300 \text{ MPa} \quad \alpha = 45^\circ.$$

- při stříhání na nůžkách se volí takový tvar součásti, aby jeho vystřížení požadovalo malý počet stříhů,
- s ohledem na využití materiálu je nejvhodnější tvar rovnoběžníka (obr. 2.13 a),
- kruhový obrys, u kterého je ztráta zhruba 30% materiálu, je nevhodný (obr. 2.13 b),
- rozvětvené tvary výstřížků jsou nevhodné. [2]

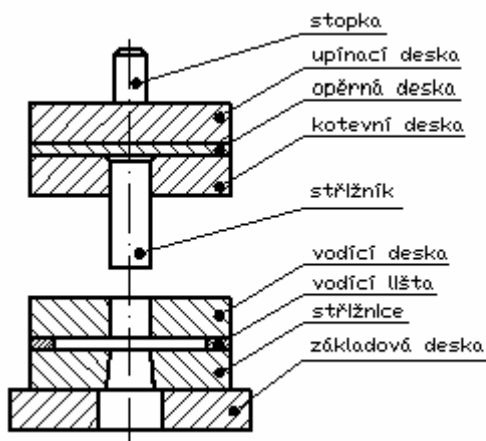


Obr. 2.13 Využití materiálu pásu [2]

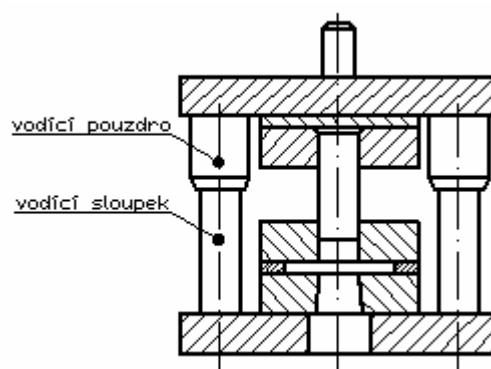
2.9 Nástroje pro stříhání

U nástrojů pro stříhání – stříhadel jsou činnou částí střížník, který plní funkci horního pohyblivého nože a střížnice, která plní funkci spodního pevného nože. [14]

Konstrukční řešení střížných nástrojů se provádí bez vedení (obr. 2.14), které se mohou použít např. pro děrování nebo pro stříhání silnějších plechů. Přesnost vedení je zde zajištěna vedením lisu a umístění polohy polotovaru je zajištěno pomocí dorazů. Další možnost provedení stříhadel je s vedením (obr. 2.15), které se používá při stříhání složitějších součástí, kdy je nutnost splnit směrovou orientaci střížníku a střížnice a orientaci pásu plechu nebo přístříhu v nástroji. Vedením se opatřuje horní část nástroje oproti spodní části a materiálu v ose nástroje a je jím zajištěna střížná vůle a rovnoměrnost stříhu. [9]

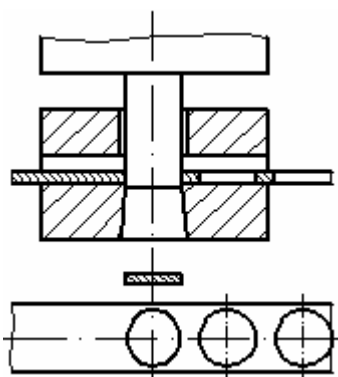


Obr. 2.14 Jednoduchý střížný nástroj bez vodícího stojánu [18]

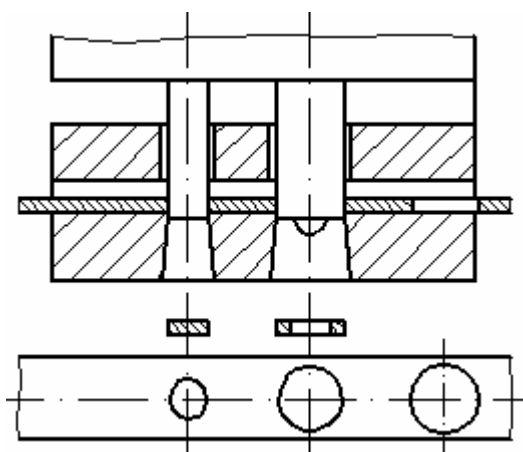


Obr. 2.15 Střížný nástroj s vodícím stojánkem [18]

Podle počtu operací se střížné nástroje člení na jednoduché, postupové, sloučené a sdružené. Jednoduchý nástroj slouží k vystřížení součásti v jedné operaci (obr. 2.16), na postupovém stříhadle se součást vyrábí postupně ve dvou a více operací (obr. 2.17). Sloučený střížný nástroj umožňuje realizovat několik operací stejného typu na jeden krok (např. děrování a vystřihování), zatímco sdružený slouží ke kombinaci různých operací (stříhání, ohýbání, tažení). [14]



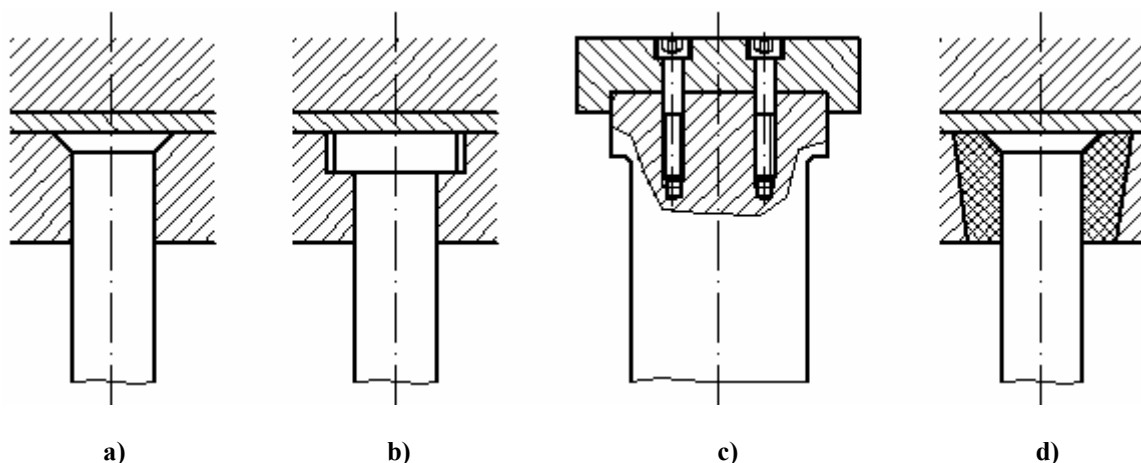
Obr. 2.16 Jednoduché stříhadlo [14]



Obr. 2.17 Postupové stříhadlo [14]

2.10 Funkční části střížných nástrojů

Střížníky lze rozlišit z hlediska tvaru průřezu a způsobu upínání. Z hlediska průřezu se jedná např. o střížníky kruhové, čtvercové, obdélníkové, tvarové a další. Většinou je čelo těchto střížníků kolmé k ose střížníku. Zatímco střížníky menších rozměrů jsou vyráběny z jednoho kusu, střížníky větších rozměrů je možné vyrobit ze dvou částí a to z nosné části, která je vyrobena z konstrukční oceli a z funkční části, která je vyrobena z nástrojové oceli a tato část je k nosné části připevněna pomocí šroubů. Z hlediska způsobu upnutí je nejjednodušším řešením roznýtování horní části střížníku (obr. 2. 18 a) nebo osazení střížníku (obr. 2. 18 b). U větších střížníků dostatečně vzdálených od sebe je upnutí možné jen za přírubu, která může být i zapuštěna (obr. 2.18 c). Mezi další možné způsoby upnutí patří např. zalití pryskyřicí (obr. 2.18 d), uchycení střížníku šroubem nebo klínem. [18]



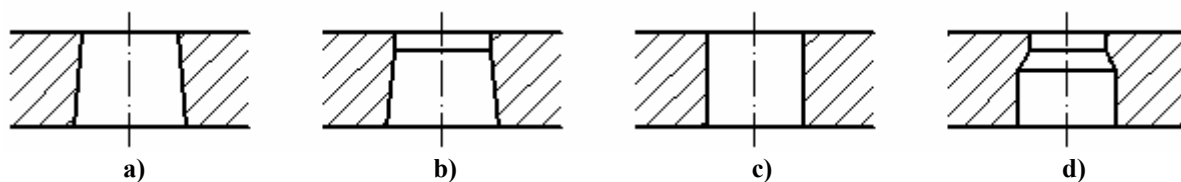
Obr. 2.18 Upnutí střížníků [18]

- a) schéma roznýtování střížníku
- b) schéma osazení střížníku
- c) schéma upnutí za zapuštěnou přírubu
- d) schéma upnutí zalitím pryskyřicí

Nejčastěji jsou střížníky a střížnice provedeny na čele rovné, tím dochází ke stříhu po celém střížném obvodu najednou. [9] Jsou – li hodnoty střížných sil takové velikosti, kdy je potřeba snížit jejich velikost, mohou se provést konstrukční úpravy střížníků a střížnic, které jsou popsány v kapitole 2.2. [19]

Střížnice je možné provést jako celistvé, které se vyrábějí z jednoho kusu a které slouží pro vystříhování součástí jednoduchých tvarů a součástí menších rozměrů. Dále to jsou střížnice skládané, vyrobené z několika meších dílů, které se při tepelném zpracování méně deformují a tyto deformace se obvykle odstraňují broušením. Střížnice se vyznačují vyšší životností. Skládané střížnice jsou vhodné pro výstřížky složitých tvarů a výstřížky větších rozměrů v sériové i hromadné výrobě. Dalším typem střížnic jsou střížnice vložkované, u kterých je možné šetřit nástrojovou ocel použitím vložky u tvarově složitějších nástrojů a u nástrojů větších rozměrů. Mezi výhody patří zvýšení životnosti nástroje, po kalení nedochází ke vzniku trhlin a deformací, z výrobního hlediska jsou vložky jednoduché na výrobu. Vložkované střížnice se používají především v sériové a hromadné výrobě.

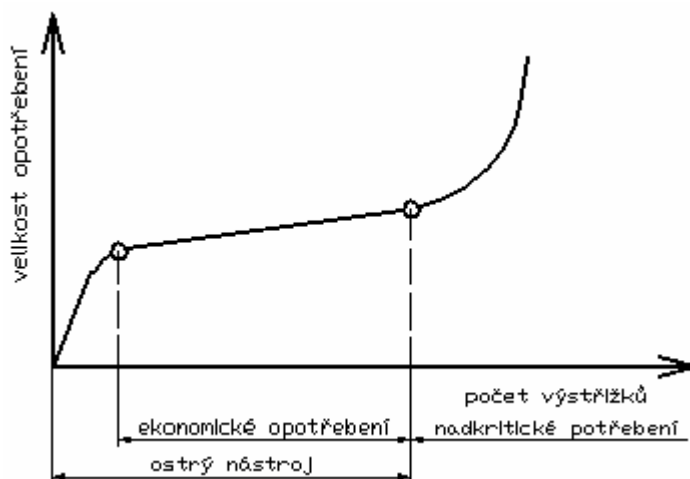
Geometrické tvary střížnic a jejich použití jsou na obr. 2.19.



Obr. 2.19 Tvary střížnic [18]

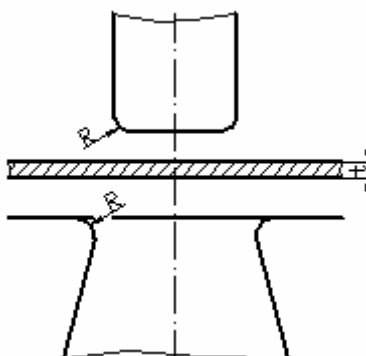
- a) pro střední počet kusů, vystřihování malých částí
- b) pro vysoký počet kusů
- c) pro stříhání za použití vyhazovače, stříhání rozměrných tvarů
- d) pro děrování

Vlivem opotřebení břitů střížnice dochází k zaoblení těchto břitů, čímž se zhoršuje kvalita střížné plochy a zvětšuje se velikost střížné síly. Proto je nutné, aby se funkční části nástroje přebrousily a to po dosažení horní meze ekonomického opotřebení (obr. 2.20).



Obr. 2.20 Opotřebení nástroje [18]

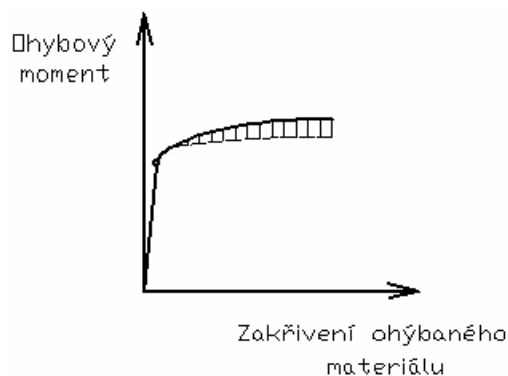
Zaoblení střížné hrany je možné až do hodnoty, která činí $R = 0,1 \cdot t$ (obr. 2.21). Při dosažení této hodnoty je nutné nástroj vyřadit z provozu. [18]



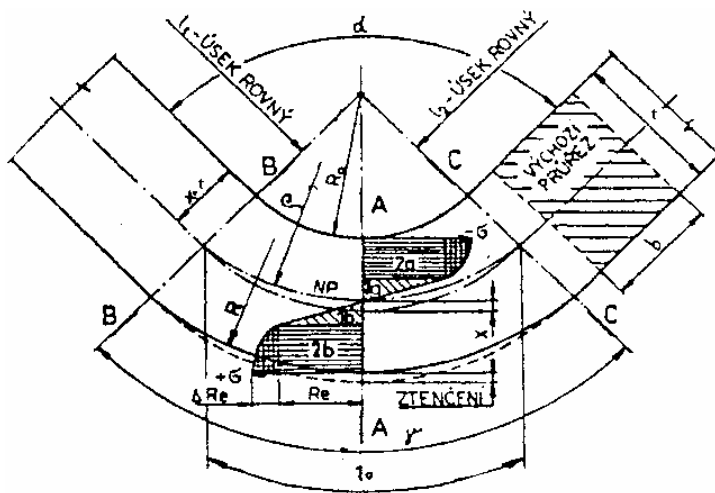
Obr. 2.21 Zaoblení střížných hran [18]

3 Technologie ohýbání

Ohýbáním součástí z plechů, tyčí nebo drátů dochází k trvalému přetváření materiálu, při kterém se vlivem vzniklého napětí od působící síly tyto součásti ohýbají nebo rovnají. K získání požadovaného tvaru je u většiny součástí zapotřebí provést i několik ohybů. Nejčastěji se ohýbání provádí za studena, pro materiály tvrdé a křehké se ohýbání provádí za tepla.[7] Během ohýbání dochází ke stlačování vrstvy materiálu na jeho vnitřní straně a k natahování vrstvy na vnější straně ohýbaného materiálu. Mezi těmito vrstvami se nachází neutrální vrstva, která se nenatahuje ani nestlačuje. V souvislosti s velikostí deformace se v ohýbaném materiálu zvětšuje během ohýbání za studena mez kluzu, vlivem které se zvětšuje jednak napětí v krajních vláknech, stejně tak i odpor proti ohnutí, kterému odpovídá zvětšení ohybového momentu. Na obr. 3.1 je zobrazena závislost mezi ohybovým momentem a zakřivením ohýbané součásti, přičemž plná čára znázorňuje ohybový moment se zpevněním a čárkovaná ohybový moment bez zpevnění. V ohýbané součásti dochází k pružné deformaci, je – li napětí v ohýbané součásti menší jak mez pevnosti v kluzu. Při překročení meze kluzu dochází k plastické deformaci ve vnějších vláknech a po odlehčení následuje odpružení vlivem pružných deformací, které jsou vratné. [1]



Obr. 3.1 Průběh ohýbacího momentu [1]

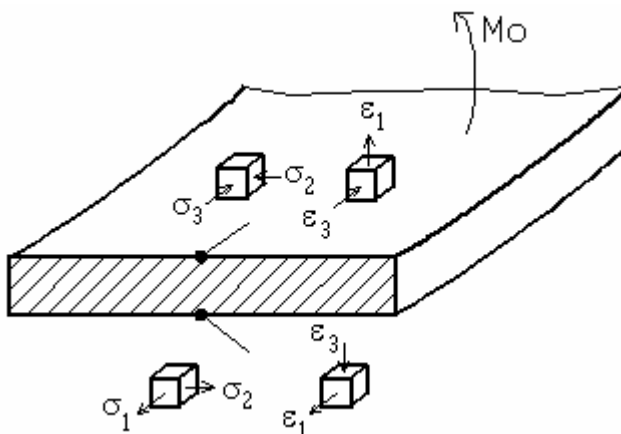


Obr. 3.2 Schéma ohýbání [7]

- 1a, 1b – oblast pružné deformace
- 2a, 2b – oblast plastické deformace se zpevněním ΔRe
- x – velikost posunutí neutrální plochy (NP) od původní osy průřezu [mm]
- R_0 – poloměr ohybu [mm]
- l_0 – délka ohnutého úseku v neutrální ploše [mm]
- ρ – poloměr neutrální plochy (NP) [mm]
- γ – úhel ohnutého úseku ($\gamma = 180 - \alpha$) [°]
- α – úhel ohybu [°]
- t – tloušťka ohýbaného materiálu [mm]

3.1 Napjatost a deformace procesu ohýbání

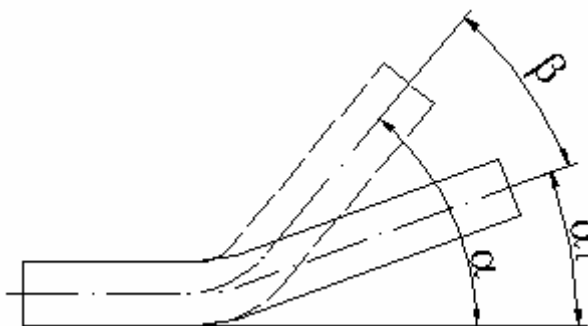
Při ohýbání širokých pásů plechů, kdy šířka plechu je podstatně větší než jeho tloušťka, je deformace v příčném směru rovna nulové hodnotě, tedy $\varepsilon_2 = 0$ a tím nedochází v daném směru k deformaci a z rovinného stavu vyplývá, že na tahové straně bude $\varepsilon_1 = -\varepsilon_3$ a na straně tlakové bude $-\varepsilon_1 = \varepsilon_3$. Z toho plyne, že v krajních vláknech ohýbaného plechu je rovinná napjatost. [8]



Obr. 3.3 Schémata napjatosti a deformace ohybu širokého pásu [8]

3.2 Odpružení po ohybu

Odpružení po ohybu vzniká při ohýbání za studena účinkem pružných deformací, které jsou vratné. Ohýbaná součást se působením pružných deformací po ukončení ohybu a odtížení vrátí o úhel odpružení, vlivem kterého nastane, že ohýbaná součást se svým tvarem liší od tvaru ohýbadla. Ohýbadla je proto nutné konstruovat na dané ohyby zvětšené o úhel odpružení. [8] Na velikost úhlu odpružení mají vliv vlastnosti ohýbaného materiálu, jeho tloušťka, poloměr ohybu, úhel ohybu a způsob ohýbání (V ohyb, U ohyb). [7] Hodnota úhlu odpružení se zmenšuje s rostoucí tloušťkou materiálu a se zmenšujícím se poloměrem ohybu. [1]



Obr. 3.4 Odpružení po ohybu [8]

α – úhel ohybu, α_1 – výsledný úhel po odpružení, β – úhel odpružení

Výpočet úhlu odpružení β pro V – ohyb [7]:

$$\tan \beta = 0,375 \cdot \frac{l_v}{k_n \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} \rightarrow \beta \quad [^\circ] \quad (8)$$

kde: l_v – vzdálenost mezi opěrami ohybnice [mm]

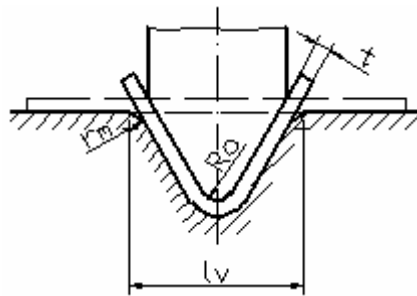
k_n – součinitel určující polohu neutrální plochy [-], $k_n = 1-x$

x – posunutí neutrální plochy [-], hodnoty jsou uvedeny v tab. 3.1

t – tloušťka ohýbaného materiálu [mm]

R_e – mez kluzu materiálu [MPa]

E – modul pružnosti v tahu [MPa]



Obr. 3.5 Schéma k výpočtu velikosti odpružení pro V ohyb [7]

Tab. 3.1 Střední hodnoty koeficientu x [1]

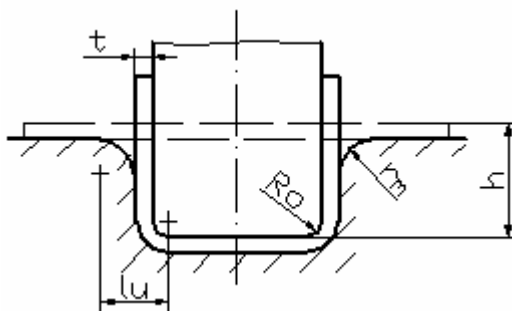
Pevnost materiálu σ_p	poměr $\frac{R_o}{t}$											
	0,1	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,5	2
do 400 MPa	0,25	0,3	0,32	0,34	0,36	0,37	0,38	0,40	0,41	0,42	0,44	0,45
nad 400 MPa									0,35	0,36	0,37	0,38

Výpočet úhlu odpružení β pro U ohyb [7]:

$$\operatorname{tg} \beta = 0,75 \cdot \frac{l_u}{k_n \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} \rightarrow \beta \quad [^\circ] \quad (9)$$

kde: l_u – vzdálenost mezi opěrami, viz obr. 3.6, $l_u = r_m + R_o + 1,2 \cdot t$ [mm]

r_m – poloměr zaoblení pevné čelisti [mm]

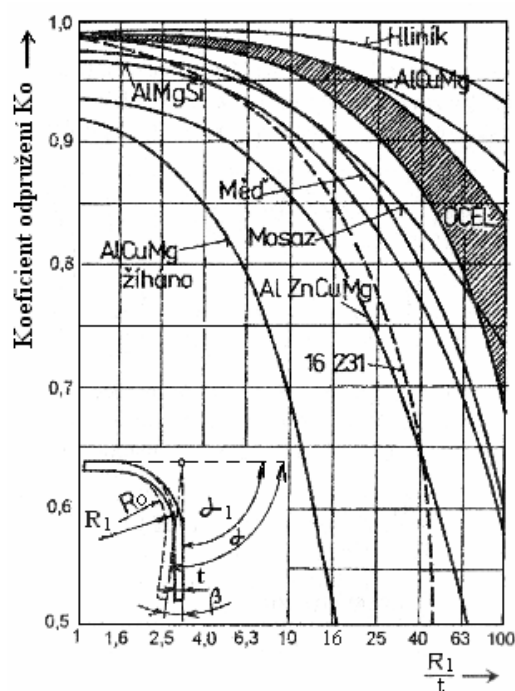


Obr. 3.6 Schéma k výpočtu velikosti odpružení pro U ohyb [7]

U součástí s velkým poloměrem ohybu, kdy $\frac{R_o}{t} > 20$, je možné odpružení stanovit pomocí diagramu (obr. 3.7), kdy je odpružení dáno koeficientem odpružení K_o .

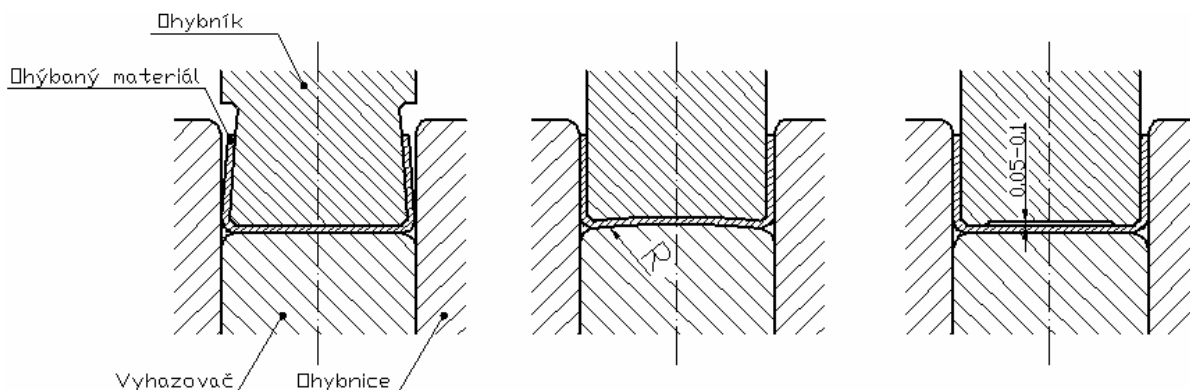
$$K_o = \frac{\alpha_1}{\alpha} = \frac{R_o + 0,5 \cdot t}{R_1 + 0,5 \cdot t} \quad [^\circ] \quad (10)$$

kde: R_1 – poloměr ohybu po odpružení [mm] [7]



Obr. 3.7 Diagram pro stanovení odpružení [8]

Vhodnými konstrukčními úpravami je možno eliminovat výsledný úhel odpružení ohýbaných součástí. Na obr. 3.7 jsou znázorněny některé tyto úpravy, jako je podbroušení ohybníku, zaoblením spodní části ohybníku nebo zaoblením vyhazovače. Další možností je vytvoření výztužných žeber – prolisů. [8]



Obr. 3.7 Konstrukční úpravy snižující úhel odpružení [8]

3.3 Minimální a maximální poloměr ohybu

Minimální poloměr ohybu je takový poloměr, při kterém nedochází v ohýbaném materiálu ke vzniku trhlin. Při jeho překročení dochází k porušení materiálu na jeho vnější tahové straně. Aby nedošlo k porušení materiálu lomem, nesmí hodnota tahového napětí na vnější straně ohýbaného materiálu překročit mez pevnosti materiálu v tahu R_m .

Výpočet minimálního poloměru ohybu:

$$R_{\min} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_{t \max}} - 1 \right) = c_o \cdot t \quad [\text{mm}] \quad (11)$$

kde: $\varepsilon_{t \max}$ – poměrná deformace [mm]

c_o – koeficient [-] [8]

Minimální poloměry ohybu lze vypočítat i pro maximální hodnoty tažnosti A, potom

$$R_{\min} = \frac{t \cdot (1 - A)}{2 \cdot A} \quad [\text{mm}]. [6] \quad (12)$$

Nejmenší doporučené hodnoty poloměru ohybu pro ocelové plechy při ohybu do 120° jsou uvedeny v tab. 3.2.

Tab. 3.2 Nejmenší poloměry ohybu [6]

Pevnost v tahu [MPa]	Nejmenší poloměr ohybu pro tloušťky plechu [mm]			
	1	1 ÷ 1,5	1,5 ÷ 2,5	2,5 ÷ 3
do 392	1	1,6	2,5	3
392 ÷ 490	1,2	2	3	4
490 ÷ 637	1,6	2,5	4	5

Minimální poloměr ohybu je závislý na plastičnosti a anizotropii ohýbaného materiálu, jeho tloušťce a šířce, kvalitě materiálu, na způsobu ohýbání a úhlu ohybu. [7]

Maximální poloměr ohybu je takový poloměr, při kterém dochází k trvalé plastické deformaci v krajních vláknech na tahové straně ohýbaného materiálu. [8] Velikost ohýbací síly se pohybuje těsně nad mezí kluzu R_e . [1]

Výpočet maximálního poloměru ohybu [7]:

$$R_{\max} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) \quad [\text{mm}] \quad (13)$$

kde: E – modul pružnosti v tahu [MPa]

R_e – mez kluzu materiálu [MPa]

3.4 Neutrální vrstva

Neutrální vrstva se nachází mezi stlačovanými a natahovanými vrstvami ohýbané součásti a vlivem zvětšujícího se zakřivení se neutrální osa (plocha) posunuje k vnitřnímu povrchu ohýbaného dílce. Její poloměr je geometrickým průměrem mezi vnějším a vnitřním poloměrem ohýbané součásti. [8] Poloha a poloměr neutrální vrstvy závisí především na relativním poloměru ohybu R_o/t a na součiniteli ztenčení z_z . [20]

Poloha neutrální plochy je důležitá zejména při navrhování výchozího rozměru ohýbaného dílce.

Poloměr neutrální plochy (vrstvy) se vypočte dle vztahů:

- a) Ohýbání s velkým poloměrem zaoblení, $\frac{R_o}{t} \geq 12$

$$\rho = R_o + \frac{t}{2} \quad [\text{mm}] \quad (14)$$

kde: ρ – poloměr neutrální plochy [mm]

R_o – poloměr ohybu [mm]

- b) Ohýbání s malým poloměrem zaoblení, $R_o \leq 6$

$$\rho = \left(R_o + \frac{t}{2} \right) \cdot z_z \cdot z_r \quad [\text{mm}] \quad (15)$$

kde: z_z – součinitel ztenčení [-]

z_r – součinitel rozšíření původního průřezu [-]

- c) Ohýbání širokých pásů plechu, $b > 3 \cdot t$

$$\rho = R_o + x \cdot t \quad [\text{mm}] \quad [7] \quad (16)$$

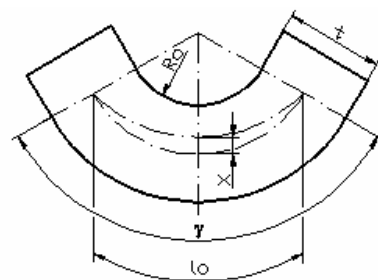
3.5 Stanovení rozměrů ohýbaných součástí

Výchozí délka polotovaru je dána součtem rovinných a ohnutých úseků, přičemž délka ohnutého úseku je rovna délce neutrální vrstvy. [20]

Délka ohnutého úseku l_o se vypočte dle vztahu:

$$l_o = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot (R_o + x \cdot t) \quad [\text{mm}] \quad (17)$$

kde: γ – úhel ohnutého úseku [°]

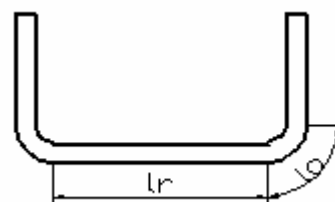


Obr. 3.8 Schéma ohnuté části [7]

Celková délka rozvinuté součásti se vypočte:

$$L_C = \sum_{i=1}^n l_{ri} + \sum_{j=1}^m l_{oj} \quad [\text{mm}] \quad (18)$$

kde: l_r – délka rovinného úseku [mm] [7]



Obr. 3.9 Schéma ohnuté součásti [20]

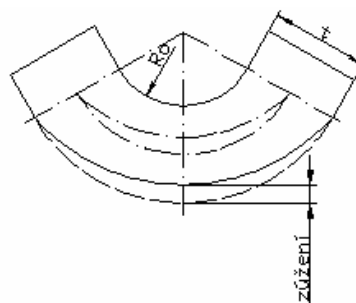
3.6 Zúžení

Zúžení materiálu se přibližně stanoví dle vztahu [7]:

$$\Delta t = t - t_1 = \frac{t^3}{4 \cdot (2 \cdot R_o + t)^2} \quad [\text{mm}] \quad (19)$$

kde: Δt – zúžení [mm]

t_1 – zúžená tloušťka ohýbaného materiálu [mm]



Obr. 3.10 Schéma zúžení [7]

3.7 Ohýbací síly

Podle způsobu ohýbání rozlišujeme ohýbací síly pro V – ohyb a U – ohyb.

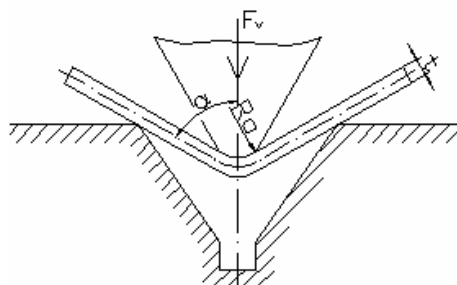
a) Síla potřebná pro ohyb materiálu pro V – ohyb bez kalibrování:

$$F_v = \frac{b \cdot t^2 \cdot R_e}{2 \cdot R_o} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad [\text{N}] \quad (20)$$

kde: b – šířka ohýbaného materiálu [mm]

R_o – poloměr ohybu [mm]

α – úhel ohybu [°]

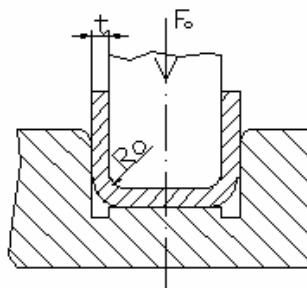


Obr. 3.11 Schéma V - ohybu [8]

b) Síla potřebná pro ohyb materiálu pro U – ohyb bez kalibrování:

$$F_o = (1 + 7 \cdot f) \cdot \frac{b \cdot t^2 \cdot R_e}{R_o + t} \quad [\text{N}] \quad (21)$$

kde: f – součinitel tření [-] [8]



Obr. 3.12 Schéma U - ohybu [8]

V případě použití přidržovače je zapotřebí ohýbací sílu zvětšit o sílu přidržovače:

$$F_p = (0,25 \div 0,3) \cdot F_o \quad [\text{N}] \quad (22)$$

kde: F_p – síla přidržovače [N] [6]

3.8 Ohýbací práce

a) Práce potřebná pro ohyb materiálu pro V – ohyb [16]:

$$A_V = \frac{F_V \cdot h \cdot k_V}{1000} \quad [\text{J}] \quad (23)$$

kde: h – zdvih [mm]

k_V – součinitel respektující průběh ohýbací síly [-], $k_V = \frac{1}{3}$

b) Práce potřebná pro ohyb materiálu pro U – ohyb [6]:

Bez přidržovače:

$$A_O = \frac{F_O \cdot h}{2 \cdot 1000} \quad [\text{J}] \quad (24)$$

S přidržovačem:

$$A_O = \frac{(F_O + F_P) \cdot h}{2 \cdot 1000} \quad [\text{J}] \quad (25)$$

3.9 Vůle mezi pevnou a pohyblivou čelistí

Mezi ohybníkem a ohybnicí je pro ohýbaný materiál důležitá vůle, která je rozdílná v závislosti na druhu ohýbacího nástroje. [1]

Ohýbáním součástí do tvaru V nebo jiných ohybů se šikmými nebo oblými rameny je vůle mezi ohybníkem a ohybnicí rovna tloušťce ohýbané součásti a lze ji dosáhnout seřízením zdvihu lisu.

Ohýbáním součástí do tvaru U je vůle závislá na tloušťce a výrobní toleranci ohýbané součásti, dále na délce ramene této součásti.

Výpočet vůle pro U – ohyb:

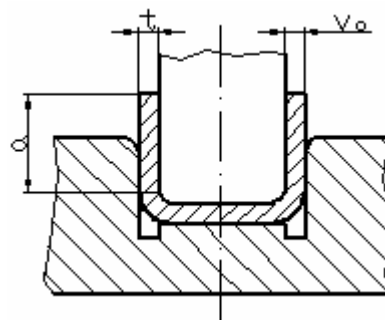
$$v_O = (t \div t_{\max}) + c_U \cdot t \quad [\text{mm}] \quad (26)$$

kde: t_{\max} – tloušťka materiálu zvětšená o horní úchylku [mm]

c_U – koeficient vlivu tření ohýbané součásti o ohybnici s ohledem na délku ramene [-], hodnoty jsou uvedeny v tab. 3.3 [6]

Tab. 3.3 Hodnoty koeficientu c_U [6]

Délka ramene a [mm]	tloušťka ohýbané součásti t [mm]			
	do 0,5	0,5 ÷ 2	2 ÷ 4	4 ÷ 7
10	0,1	0,1	0,08	-
20	0,1	0,1	0,08	0,06
35	0,15	0,1	0,08	0,06
50	0,2	0,15	0,1	0,08
75	0,2	0,15	0,1	0,1
100	-	0,15	0,1	0,1
150	-	0,2	0,15	0,1
200	-	0,2	0,15	0,15

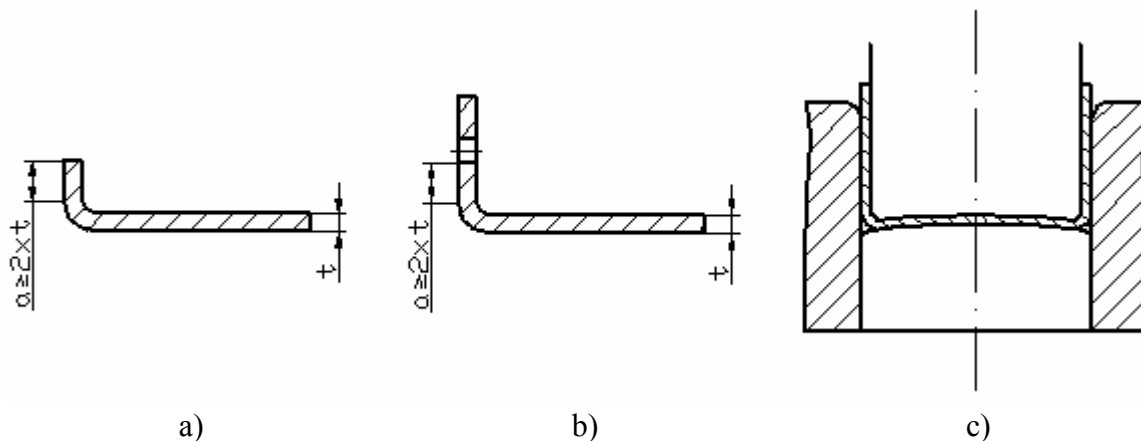


Obr. 3.13 Schéma pro výpočet ohýbací vůle [8]

3.10 Technologičnost konstrukce ohýbaných součástí

K dosažení funkčního ohýbaného výrobku je nutné dodržet technologické zásady, mezi které patří:

- osa ohybu by měla směřovat kolmo na směr vláken (při nedodržení se musí zvětšit poloměr ohybu),
- oproti volnému ohybu dát přednost ohýbání s kalibrací,
- tvorba přídavného napětí vlivem natažení ohýbané součásti,
- vhodná úprava funkčních částí ohýbacího nástroje (např. zamezení posunutí místa ohybu při ohýbání součástí s nesterajně dlouhými a širokými rameny je možné vyřešit pomocí kolíků v ohybníku, které se zasunou do technologických otvorů v plechu),
- vhodné úpravy ohýbané součásti, mezi které patří:
 - délka ohýbaného ramene nemá být menší jak dvojnásobek tloušťky plechu (obr. 3.14 a),
 - vzdálenost okraje otvoru od místa ohybu musí být minimálně dvojnásobek tloušťky plechu, jinak dojde k deformaci tohoto otvoru (obr. 3.14 b),
 - u materiálů s velkou anizotropií je vhodné zhotovit ztužující prolisy nebo je vyztužit žebry v místě ohybu,
 - v místě ostrého ohybu (poloměr ohybu se blíží k nule) je třeba vytvořit dostatečný objem kovu s následným kalibrováním tohoto úhlu,
 - úprava dna ohýbané součásti tvaru U (obr. 3.14 c). [7]



Obr. 3.14 Technologicko – konstrukční úpravy ohýbaných součástí [7]

3.11 Přesnost při ohýbání

Přesnost při ohýbání v ohýbadlech závisí na řadě faktorů, především na:

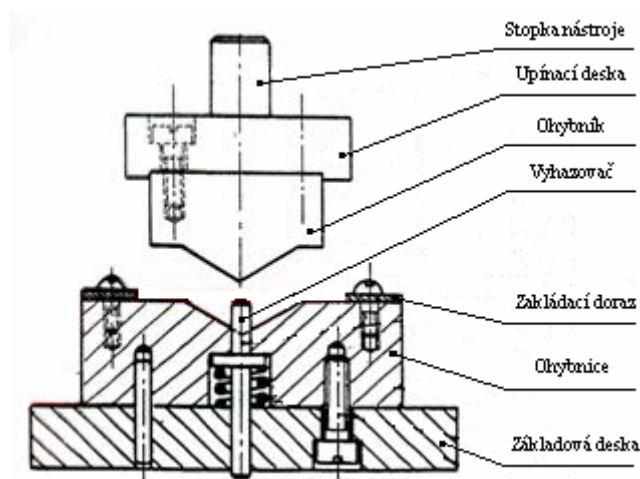
- tvaru a rozměru ohýbané součásti,
- stejnorodosti mechanických vlastností výchozího materiálu,
- počtu ohýbacích operací,
- přesnosti ohýbacího nástroje,
- použití kalibrace,
- přesnosti ustavení polohy ohýbadla na pracovním stroji.

Při ohýbání je kvalita povrchu ohýbané součásti závislá na:

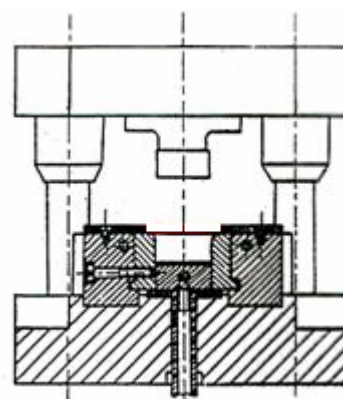
- kvalitě povrchu výchozího materiálu,
- rozměru ohýbací čelisti,
- velikosti jednostranné mezery mezi ohybníkem a ohybnicí,
- rozdílné tloušťce výchozího materiálu,
- drsnosti povrchu ohýbacího nástroje,
- způsobu mazání. [1]

3.12 Nástroje pro ohýbání

Pro ohýbání součástí se používají ohýbací nástroje – ohýbadla, které mohou být z hlediska konstrukce provedeny bez vedení nebo s vedením, dále postupové a postupové sdružené pro kombinaci technologií ohýbání a stříhání. Ohýbací nástroj bez vedení je na obr. 3.15, kde se výchozí materiál vkládá do základacích dorazů a po provedení ohybu je vyjmut pomocí odpruženého vyhazovače. Na obr. 3.16 je zobrazen ohýbací nástroj s vedením, které se používá pro zajištění směrové orientace mezi ohybníkem a ohybnicí a také k zajištění pásu plechu v postupovém nástroji. [9]



Obr. 3.15 Ohýbací nástroj pro V – ohyb [14]

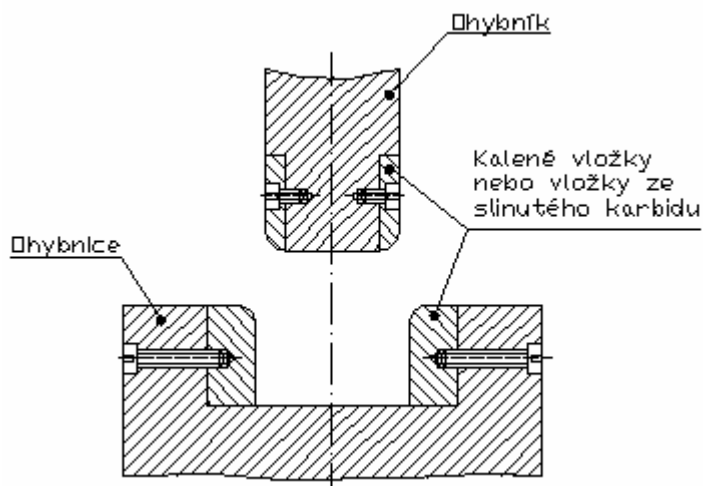


Obr. 3.16 Ohýbací nástroj pro U – ohyb [14]

3.13 Funkční části ohýbacích nástrojů

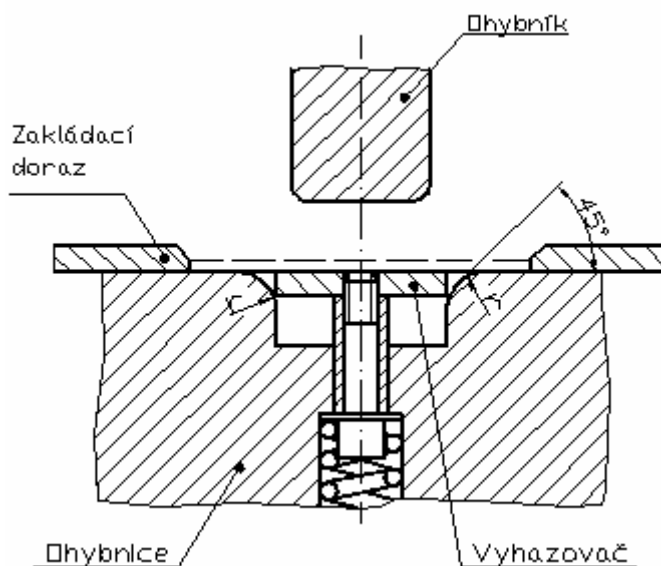
Ohýbání plechu se realizuje mezi ohybníkem, který představuje pohyblivou ohýbací čelist a ohybnicí, která představuje pevnou ohýbací čelist.

Ohybník je opatřen stopkou zajištěnou proti pootočení. Jeho šířka má být minimálně stejná, jako je velikost ohýbané součásti. Poloměr zaoblení ohybníku je stejný jako poloměr ohybu. V případě potřeby je možné použít kalených vložek nebo vložek ze slinutých karbidů, které šetří legovanou ocel (obr. 3.17). [18]



Obr. 3.17 Funkční části ohýbadel [8]

Ohybnice představuje spodní část ohýbacího nástroje. Poloměr zaoblení činné části má vliv na velikost ohýbací síly a na přesnost ohybu a volí se v rozmezí 2 až 6 násobku tloušťky ohýbaného materiálu. Při ohýbání plechů o tloušťce větší jak 3 mm je výhodnější u ohybnice provést sražení hran pod úhlem 45° a přechody zaoblit poloměrem zaoblení činné části (obr. 3.18). [18]



Obr. 3.18 Funkční část ohýbadla [8]

4 Stroje pro stříhání a ohýbání

Mezi stroje používané pro technologie stříhání a ohýbání patří hydraulické a mechanické lisy. Z mechanických lisů se pro tyto technologie používají klikové a výstředníkové lisy.

U hydraulických lisů, jejichž princip je založen na rovnoměrném šíření tlaku v kapalině všemi směry, lze s výhodou libovolně nastavit potřebnou velikost pracovního zdvihu, plynule regulovat rychlost pohybu beranu, v jakémkoliv místě pracovního zdvihu odebírat maximální sílu. Mezi nevýhody patří nižší účinnost a pomalejší chod beranu, což vede k nižší výrobě pracovního stroje.

Mezi nepoužívanější tvářecí stroje patří mechanické lisy, u kterých se pracovní zdvih realizuje klikovým mechanismem a u kterých se dosahuje maximální síla až těsně před dolní úvratí. Tyto lisy se vyznačují velkou výrobou a jsou poměrně jednoduché. Lisy nesmí být zatěžovány silami, které by byly vyšší, než jmenovitá síla lisů, jinak by došlo k přetížení a k následnému poškození stroje.

Pro stříhání a ohýbání se používají jednobodové klikové lisy, u kterých je k přenosu síly využito klikového mechanismu a u kterých je konstantní zdvih beranu. Pracovní prostor bývá nejčastěji uzavřený.

U výstředníkových lisů je k přenosu síly využito výstředníkového mechanismu, u kterých je možnost nastavit požadovanou velikost zdvihu beranu natočením výstředníkového pouzdra. Pracovní prostor je zde otevřený. [17]



Obr. 4.1 Klikové lisy [11]



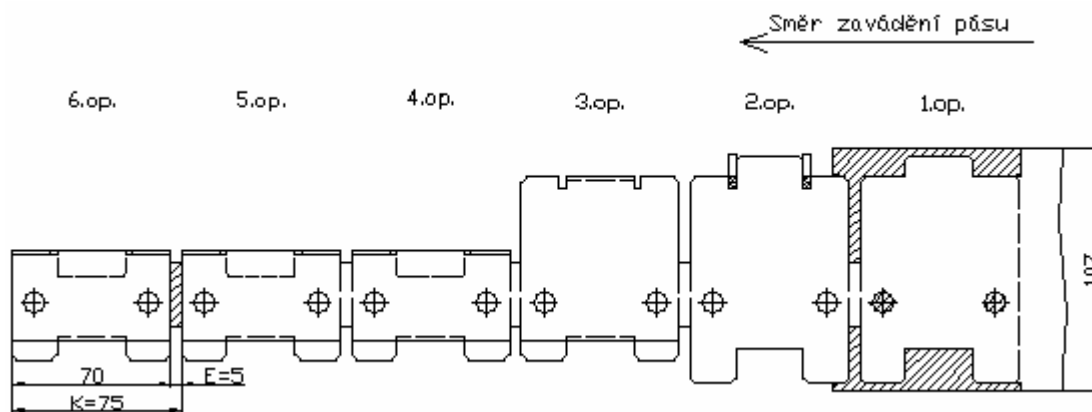
Obr. 4.2 Výstředníkový lis [12]

5 Návrh technologie výroby

Ve stávající technologii se vyráběná součást zhotovuje pomocí postupového střížného nástroje a ohraňovacího lisu. Jako výchozího polotovaru je využito tabule plechu, která se nastříhá na pásy a ty se podávají do stříhadla, ve kterém dochází k vystřížení kruhových otvorů a otvorů umožňujících ohyb, dále k vystřížení rozvinutého tvaru. Takto připravená součást se pomocí speciálního náradí na ohraňovacím lise ohýbá do požadovaného tvaru.

5.1 Nástřihový plán

Do nástroje se vkládají pásy plechu o šířce 107 mm, které jsou odvíjené ze svitku o rozměrech 1200 x 450 mm. V první operaci je pro zajištění polohy použit načínací doraz a dochází k obstřížení součásti z její horní a spodní části současně s částečným ustřížením z levé strany součásti. V této operaci je také provedeno vystřížení dvou kruhových otvorů. V následující operaci po zahledání otvoru hledáčkem dochází k vystřížení dvou obdélníkových otvorů nutných pro odlehčení a uskutečnění ohybu. Jelikož střížníky pro vystřížení těchto otvorů nevyhovovaly kontrole na vzpěr, byla provedena konstrukční úprava a to osazení těchto střížníků na větší rozměr. Ve třetí operaci je zahledání řešeno pomocí dvou hledáček umístěných v přidržovači, který je pod čtyřmi pružinami a připevněn šrouby k upínací desce. Při pracovním zdvihu horní části nástroje dojde k zahledání a přidržení pásu plechu a k ohnutí horní a spodní části součásti. V další operaci se zahledává dvěma hledáčky umístěných v přidržovači, který je pod dvěma pružinami a po zahledání a přidržení dochází k ohybu do konečného tvaru. V páté operaci se zahledává jedním hledáčkem a uskutečňuje se zde ustřížení součásti z její levé strany a v šesté operaci konečné ustřížení z její pravé strany. Takto hotová součást při dalším posunutí vypadne z boční části nástroje do připravené palety.



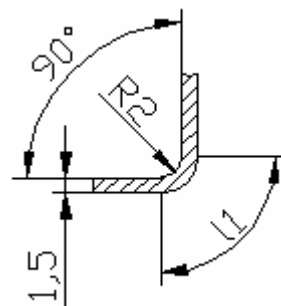
Obr. 5.1 Nástřihový plán

5.2 Výpočet rozvinuté délky součásti

Stanovení délky l_1 (viz. obr. 5.2):

$$\text{Dle tab. 3.1: } \frac{R_0}{t} = \frac{2}{1,5} = 1,33 \Rightarrow x = 0,363$$

$$l_1 = \frac{\pi \cdot \alpha}{180^\circ} \cdot (R_0 + x \cdot t) = \frac{\pi \cdot 90^\circ}{180^\circ} \cdot (2 + 0,363 \cdot 1,5) = 3,995 \text{ mm}$$

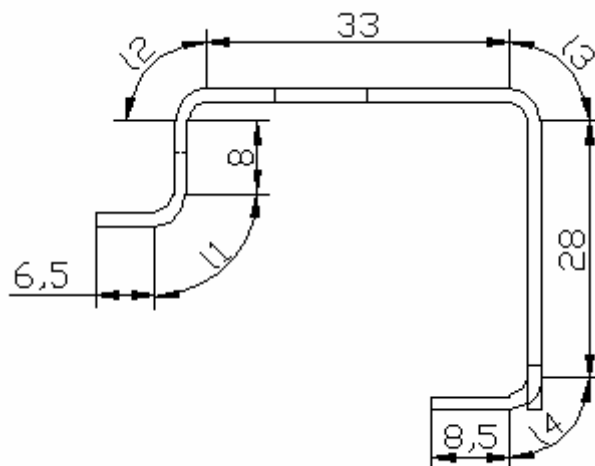


Obr. 5.2 Schéma pro výpočet délky l_1

Výpočet rozvinuté délky součásti (viz. obr. 5.3):

Délky l_1, l_2, l_3, l_4 mají stejné poloměry ohybu a platí: $l_1 = l_2 = l_3 = l_4 = 3,995 \text{ mm}$.

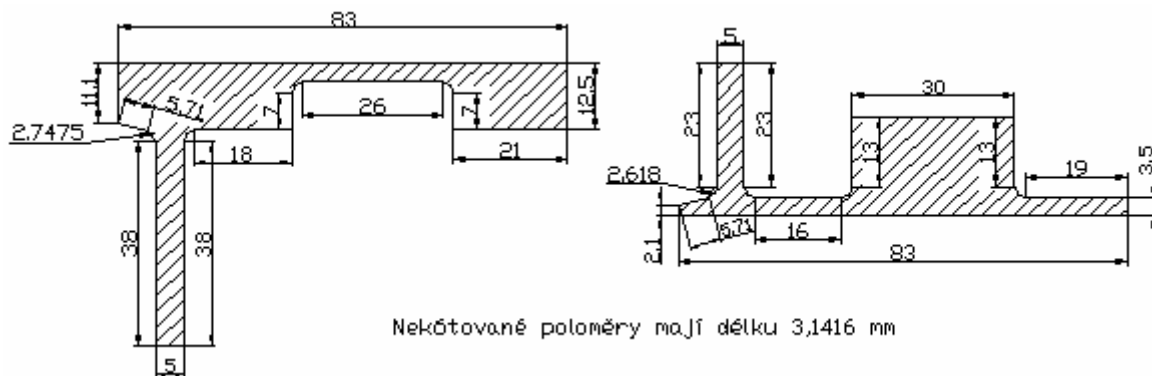
$$L_c = 6,5 + l_1 + 8 + l_2 + 33 + l_3 + 28 + l_4 + 8,5 = 6,5 + 3,995 + 8 + 3,995 + 33 + 3,995 + 28 + 3,995 + 8,5 = 99,98 \rightarrow L_c = 100 \text{ mm}$$



Obr. 5.3 Schéma pro výpočet rozvinuté délky L_c

5.3 Technologické výpočty

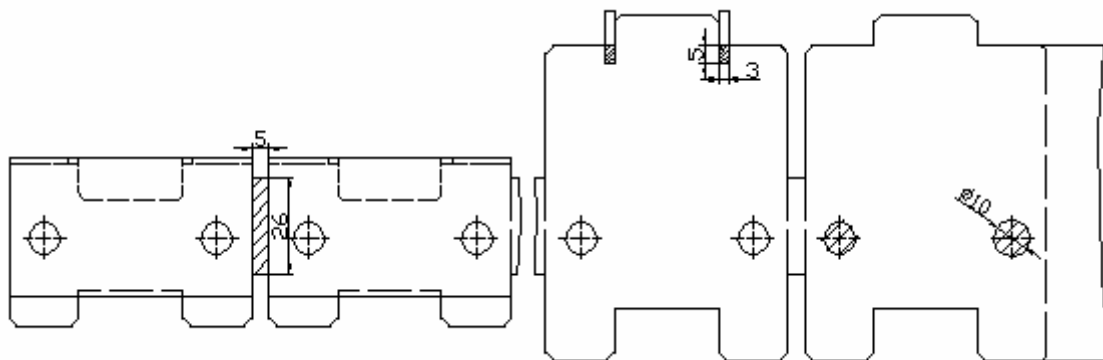
Výpočet obvodu stříhaných částí:



Obr. 5.4 Schéma pro výpočet obvodů O_1 a O_2 stříhaných částí

$$o_1 = 83 + 12,5 + 21 + 7 + 3,1416 + 26 + 3,1416 + 7 + 18 + 3,1416 + 38 + 5 + 38 + 2,7475 + 5,71 + 11,1 = 284,482 \text{ mm}$$

$$o_2 = 83 + 2,1 + 5,71 + 2,618 + 23 + 5 + 23 + 3,1416 + 16 + 3,1416 + 13 + 30 + 13 + 3,1416 + 19 + 3,5 = 248,352 \text{ mm}$$



Obr. 5.5 Schéma pro výpočet obvodů O_3 , O_4 a O_5 stříhaných částí

Kruhový otvor $\varnothing 10\text{mm}$:

$$o_3 = 2 \cdot \pi \cdot 5 = 31,415 \text{ mm}$$

Obdélníkový otvor o rozměrech 3x5 mm:

$$o_4 = 2 \cdot (3 + 5) = 16 \text{ mm}$$

Obdélníkový otvor o rozměrech 5x26 mm:

$$o_5 = 2 \cdot (5 + 26) = 62 \text{ mm}$$

Výpočet obvodu všech stříhaných částí:

$$l_c = o_1 + o_2 + 2 \cdot o_3 + 2 \cdot o_4 + o_5 = 284,482 + 248,352 + 2 \cdot 31,415 + 2 \cdot 16 + 62 = 689,664 \text{ mm}$$

Výpočet střížné síly pro stříhaný otvor o obvodu o_1 :

$$F_{s_1} = n \cdot S \cdot \tau_s = n \cdot l \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,3 \cdot 284,482 \cdot 1,5 \cdot 0,8 \cdot 410 = 181\,954,7 \text{ N}$$

$$l = o_1$$

Výpočet střížné síly pro stříhaný otvor o obvodu o_2 :

$$F_{s_2} = n \cdot S \cdot \tau_s = n \cdot l \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,3 \cdot 248,352 \cdot 1,5 \cdot 0,8 \cdot 410 = 158\,846 \text{ N}$$

$$l = o_2$$

Výpočet střížné síly pro stříhaný otvor o obvodu o_3 :

$$F_{s_3} = n \cdot S \cdot \tau_s = n \cdot l \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,3 \cdot 31,415 \cdot 1,5 \cdot 0,8 \cdot 410 = 20\,093,6 \text{ N}$$

$$l = o_3$$

Výpočet střižné síly pro stříhaný otvor o obvodu o_4 :

$$F_{S_4} = n \cdot S \cdot \tau_s = n \cdot l \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,3 \cdot 16 \cdot 1,5 \cdot 0,8 \cdot 410 = 10\,233,6 \text{ N}$$
$$l = o_4$$

Výpočet střižné síly pro stříhaný otvor o obvodu o_5 :

$$F_{S_5} = n \cdot S \cdot \tau_s = n \cdot l \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,3 \cdot 62 \cdot 1,5 \cdot 0,8 \cdot 410 = 39\,655,2 \text{ N}$$
$$l = o_5$$

Výpočet celkové střižné síly:

$$F_{S_c} = n \cdot S \cdot \tau_s = n \cdot l_c \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,3 \cdot 689,664 \cdot 1,5 \cdot 0,8 \cdot 410 = 441\,109 \text{ N} \rightarrow 441,109 \text{ kN}$$

$$n = (1,1 \div 1,3) \rightarrow \text{volím } n = 1,3$$

Dle přílohy č. 3: volím $R_m = 410 \text{ MPa}$

Výpočet střižné práce:

$$A_s = \frac{k \cdot F_s \cdot t}{1000} = \frac{0,52 \cdot 441\,109 \cdot 1,5}{1000} = 344,07 \text{ J}$$

Dle přílohy č. 2: volím $k = 0,52$

Výpočet střižné mezery:

$$m = c \cdot t \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_{ps}} = c \cdot t \cdot 0,32 \cdot \sqrt{0,8 \cdot R_m} = 0,015 \cdot 1,5 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{0,8 \cdot 410} = 0,13 \text{ mm}$$

$$c = (0,005 \div 0,025) \rightarrow \text{volím } c = 0,015$$

Výpočet střižné vůle:

$$v = 2 \cdot m = 2 \cdot 0,13 = 0,26 \text{ mm}$$

Výpočet úhlu odpružení:

$$\text{tg } \beta = 0,375 \cdot \frac{l_v}{k_n \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} = 0,375 \cdot \frac{10}{(1 - 0,3634) \cdot 1,5} \cdot \frac{240}{210\,000} \rightarrow \beta = 0^\circ 15'$$

Dle lit. [23]: $l_v = 5 \cdot R_o = 5 \cdot 2 = 10 \text{ mm}$

Dle přílohy č. 3: $R_e = 240 \text{ MPa}$

Dle lit. [13]: $E = 210\,000 \text{ MPa}$

Výpočet ohybových sil:

$$F_{V_I} = \frac{b_1 \cdot t^2 \cdot Re}{2 \cdot R_O} \cdot tg \frac{\alpha}{2} = \frac{30 \cdot 1,5^2 \cdot 240}{2 \cdot 2} \cdot tg \frac{90}{2} = 4\,050 \text{ N}$$

Dle přílohy č. 4: $b_1 = 30 \text{ mm}$

$$F_{V_{II}} = F_{V_{IIa}} + F_{V_{IIb}}$$

$$F_{V_{IIa}} = \frac{b_{2a} \cdot t^2 \cdot Re}{2 \cdot R_O} \cdot tg \frac{\alpha}{2} = \frac{70 \cdot 1,5^2 \cdot 240}{2 \cdot 2} \cdot tg \frac{90}{2} = 9\,450 \text{ N}$$

$$F_{V_{IIb}} = 2 \cdot \left(\frac{b_{2b} \cdot t^2 \cdot Re}{2 \cdot R_O} \cdot tg \frac{\alpha}{2} \right) = 2 \cdot \left(\frac{20 \cdot 1,5^2 \cdot 240}{2 \cdot 2} \cdot tg \frac{90}{2} \right) = 5\,400 \text{ N}$$

$$F_{V_{II}} = F_{V_{IIa}} + F_{V_{IIb}} = 9\,450 + 5\,400 = 14\,850 \text{ N}$$

Dle přílohy č. 4: $b_{2a} = 70 \text{ mm}$

$$b_{2b} = 20 \text{ mm}$$

$$F_{V_{III}} = \frac{b_3 \cdot t^2 \cdot Re}{2 \cdot R_O} \cdot tg \frac{\alpha}{2} = \frac{70 \cdot 1,5^2 \cdot 240}{2 \cdot 2} \cdot tg \frac{90}{2} = 9\,450 \text{ N}$$

Dle přílohy č. 4: $b_3 = 70 \text{ mm}$

Výpočet celkové ohybové síly:

$$F_{V_C} = F_{V_I} + F_{V_{II}} + F_{V_{III}} = 4\,050 + 14\,850 + 9\,450 = 28\,350 \text{ N}$$

Výpočet ohybové práce:

$$A_{V_1} = \frac{F_{V_I} \cdot h_1}{2 \cdot 1000} = \frac{4\,050 \cdot 13,5}{2 \cdot 1000} = 27,34 \text{ J}$$

Dle přílohy č. 6: $h_1 = 13,5 \text{ mm}$

$$A_{V_2} = \frac{F_{V_{II}} \cdot h_2}{2 \cdot 1000} = \frac{14\,850 \cdot 13,5}{2 \cdot 1000} = 100,24 \text{ J}$$

Dle přílohy č. 7: $h_2 = 13,5 \text{ mm}$

$$A_{V_3} = \frac{F_{V_{III}} \cdot h_3}{2 \cdot 1000} = \frac{9\,450 \cdot 11,5}{2 \cdot 1000} = 54,34 \text{ J}$$

Dle přílohy č. 8: $h_3 = 11,5 \text{ mm}$

Výpočet celkové ohybové práce:

$$A_{V_c} = A_{V_1} + A_{V_2} + A_{V_3} = 27,34 + 100,24 + 54,34 = 181,92 \text{ J}$$

Výpočet maximálního poloměru ohybu:

$$R_{\max} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) = \frac{1,5}{2} \cdot \left(\frac{210\,000}{240} - 1 \right) = 655,5 \text{ mm}$$

Výpočet minimálního poloměru ohybu:

$$R_{\min} = \frac{t \cdot (1 - A)}{2 \cdot A} = \frac{1,5 \cdot (1 - 0,28)}{2 \cdot 0,28} = 1,929 \text{ mm}$$

Výpočet zúžení:

$$\Delta t = t - t_1 = \frac{t^3}{4 \cdot (2 \cdot R_o + t)^2} = \frac{1,5^3}{4 \cdot (2 \cdot 2 + 1,5)^2} = 0,028 \text{ mm}$$

Výpočet sil na přidržovačích:

Síla na přidržovači pro třetí operaci:

Dle literatury [21] je velikost síly vyvozená pružinou dána velikostí jejího propružení \Rightarrow pro danou operaci je velikost síly vyvozená pružinou: $F_{PR} = 1\,265,5 \text{ N}$

Ve třetí operaci je přidržovač pod 4 pružinami \Rightarrow síla na přidržovači je:

$$F_{P_1} = 4 \cdot F_{PR} = 4 \cdot 1\,265,5 = 5\,062 \text{ N}$$

Síla na přidržovači pro čtvrtou operaci:

V dané operaci je velikost síly vyvozená pružinou: $F_{PR} = 1\,265,5 \text{ N}$

Ve čtvrté operaci je přidržovač pod 2 pružinami \Rightarrow síla na přidržovači je:

$$F_{P_2} = 2 \cdot F_{PR} = 2 \cdot 1\,265,5 = 2\,531 \text{ N}$$

Určení polohy stopky nástroje:

Početni metoda:

a) těžiště sil v ose x (obr. 5.6):

$$\begin{aligned}\sum F \cdot x = & F_{S_5} \cdot 2,5 + (F_{V_3} + F_{P_2}) \cdot 115 + (F_{V_1} + F_{P_1} + F_{V_2}) \cdot 190 + F_{S_4} \cdot 248,5 + F_{S_4} \cdot 281,5 + \\ & + F_{S_3} \cdot 315 + F_{S_1} \cdot 329,8 + F_{S_2} \cdot 333,5 + F_{S_3} \cdot 365 = 39\,655,2 \cdot 2,5 + (9\,450 + 2\,531) \cdot 115 + \\ & + (4\,050 + 5\,062 + 14\,850) \cdot 190 + 10\,233,6 \cdot 248,5 + 10\,233,6 \cdot 281,5 + 20\,093,6 \cdot 315 + \\ & + 181\,954,7 \cdot 329,8 + 158\,846 \cdot 333,5 + 20\,093,6 \cdot 365 = 138\,100\,986,8 \text{ N} \cdot \text{mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum F = & F_{S_5} + F_{V_3} + F_{P_2} + F_{V_1} + F_{P_1} + F_{V_2} + F_{S_4} + F_{S_4} + F_{S_3} + F_{S_1} + F_{S_2} + F_{S_3} = 39\,655,2 + 9\,450 + \\ & + 2\,531 + 4\,050 + 5\,062 + 14\,850 + 10\,233,6 + 10\,233,6 + 20\,093,6 + 181\,954,7 + 158\,846 + \\ & + 20\,093,6 = 477\,053,3 \text{ N}\end{aligned}$$

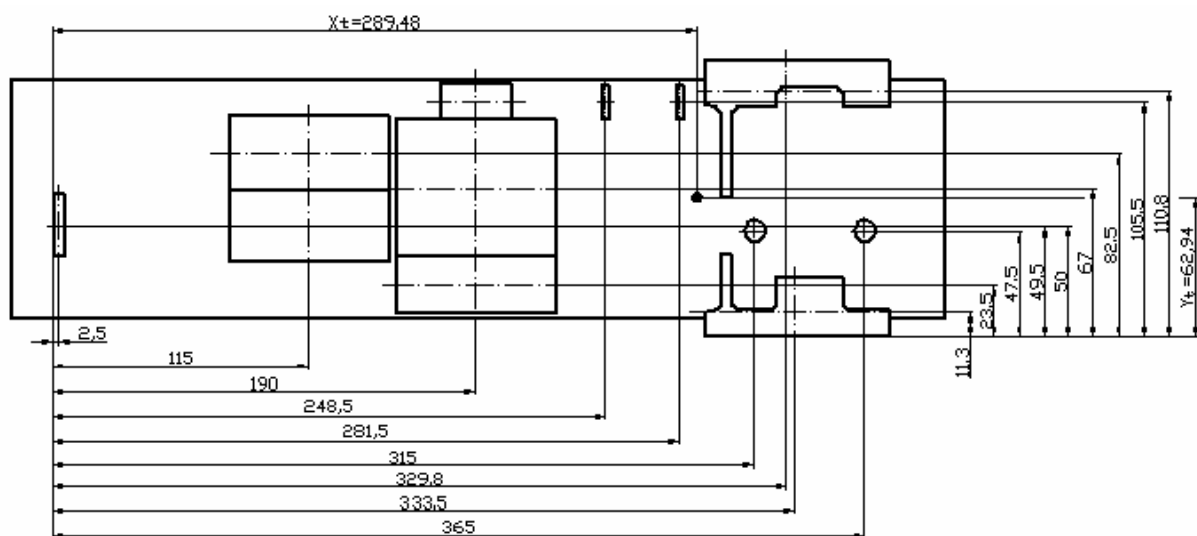
$$X_T = \frac{\sum F \cdot x}{\sum F} = \frac{138\,100\,986,8}{477\,053,3} = 289,48 \text{ mm}$$

b) těžiště sil v ose y (obr. 5.6):

$$\begin{aligned}\sum F \cdot y = & F_{S_2} \cdot 11,3 + F_{V_2} \cdot 23,5 + 2 \cdot (F_{S_3} \cdot 47,5) + F_{P_2} \cdot 49,5 + F_{S_5} \cdot 50 + F_{P_1} \cdot 67 + F_{V_3} \cdot 82,5 + \\ & + 2 \cdot (F_{S_4} \cdot 105,5) + F_{S_1} \cdot 110,8 = 158\,846 \cdot 11,3 + 14\,850 \cdot 23,5 + (2 \cdot 20\,093,6) \cdot 47,5 + \\ & + 2\,531 \cdot 49,5 + 39\,655,2 \cdot 50 + 5\,062 \cdot 67 + 9\,450 \cdot 82,5 + (2 \cdot 10\,233,6 + 4\,050) \cdot 105,5 + \\ & + 181\,954,7 \cdot 110,8 = 30\,026\,794,55 \text{ N} \cdot \text{mm}\end{aligned}$$

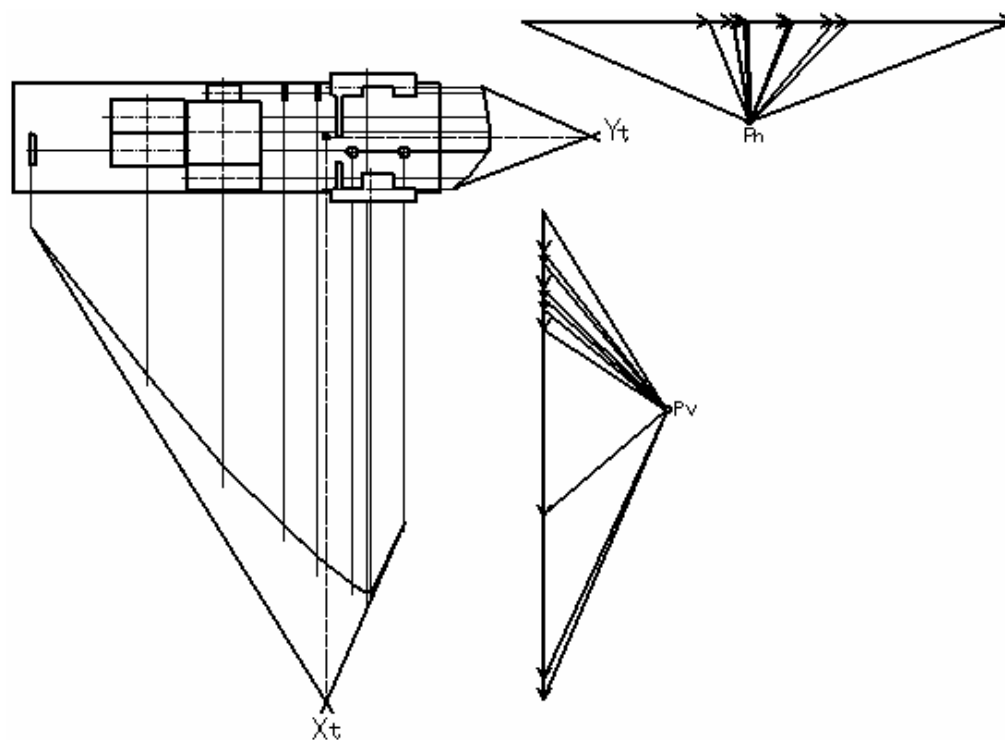
$$\begin{aligned}\sum F = & F_{S_2} + F_{V_2} + 2 \cdot F_{S_3} + F_{P_2} + F_{S_5} + F_{P_1} + F_{V_3} + 2 \cdot F_{S_4} + F_{V_1} + F_{S_1} = 158\,846 + 14\,850 + \\ & + 2 \cdot 20\,093,6 + 2\,531 + 39\,655,2 + 5\,062 + 9\,450 + 2 \cdot 10\,233,6 + 4\,050 + 181\,954,7 = \\ & = 477\,053,3 \text{ N}\end{aligned}$$

$$Y_T = \frac{\sum F \cdot y}{\sum F} = \frac{30\,026\,794,55}{477\,053,3} = 62,94 \text{ mm}$$



Obr. 5.6 Početní určení těžiště sil

Grafická metoda:



Obr. 5.7 Grafické určení těžiště sil

Výsledky početního a grafického řešení polohy stopky nástroje jsou téměř srovnatelné.

5.4 Kontrolní výpočty

Kontrola střížníků na vzpěr (viz. obr. 5.5):

Pro střížník $\varnothing 10 \text{ mm}$:

$$I_3 = \frac{\pi \times 10^4}{64} = 490,87 \text{ mm}^4$$

$$l_{krit_3} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_3}{n \cdot F_{S_3}}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 200\,000 \cdot 490,87}{1,3 \cdot 20\,093,6}} = 192,6 \text{ mm}$$

Dle lit. [13] pro materiál 19 573: $E = 2 \cdot 10^5 \text{ MPa}$

Pro střížník o rozměrech 3x15 mm:

$$I_4 = \frac{15 \times 3^3}{12} = 33,75 \text{ mm}^4$$

$$l_{krit_4} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_4}{n \cdot F_{S_4}}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 200\,000 \cdot 33,75}{1,3 \cdot 10\,233,6}} = 70,76 \text{ mm}$$

Pro střížník o rozměrech 5x28 mm:

$$I_5 = \frac{28 \cdot 5^3}{12} = 291,67 \text{ mm}^4$$

$$l_{krit_5} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_5}{n \cdot F_{S_5}}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 200\,000 \cdot 291,67}{1,3 \cdot 39\,655,2}} = 105,68 \text{ mm}$$

Z následujících výpočtů vyplývá, že délka střížníků by neměla být větší jak 70 mm. Z hlediska konstrukce nástroje tato délka střížníků nevyhovovala, proto se střížník o rozměrech 3x15 mm konstrukčně upravil osazením v délce 35mm na rozměr 7x15 mm.

Pro osazený střížník o rozměrech 7x15 mm:

$$I_{4a} = \frac{15 \times 5^3}{12} = 156,25 \text{ mm}^4$$

$$l_{krit_{4a}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{4a}}{n \cdot F_{S_4}}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 200\,000 \cdot 156,25}{1,3 \cdot 10\,233,6}} = 152,26 \text{ mm}$$

Celková kritická délka takto upraveného střížníku je 187 mm.

V takovémto případě by největší délka střížníků neměla být větší je 105 mm.

Kontrola střížníků na otlačení:

Pro střížník $\varnothing 10$ mm, který je v kotevní desce osazen na $\varnothing 15$ mm:

$$\sigma_{otl_3} = \frac{1,25 \cdot F_{S_3}}{S_3} = \frac{1,25 \cdot 20\,093,6}{\frac{\pi \cdot 15^2}{4}} = 142,14 \text{ MPa}$$

Pro střížník o rozměrech 3x15 mm, který je v kotevní desce osazen na rozměr 12x15 mm:

$$\sigma_{otl_4} = \frac{1,25 \cdot F_{S_4}}{S_4} = \frac{1,25 \cdot 10\,233,6}{15 \cdot 12} = 71 \text{ MPa}$$

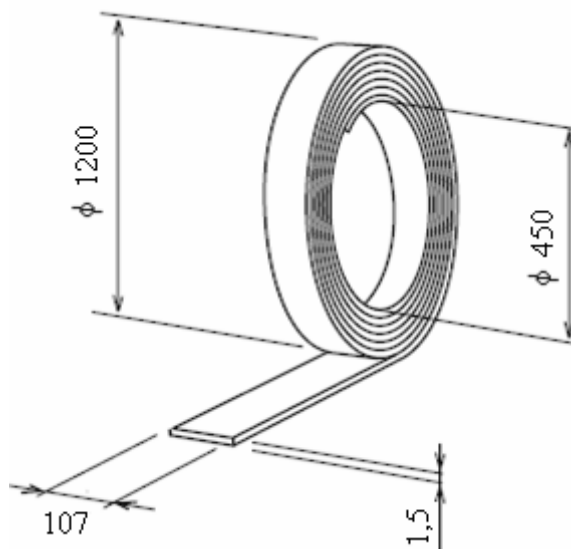
Pro střížník o rozměrech 28x5 mm, který je v kotevní desce osazen na rozměr 28x10 mm:

$$\sigma_{otl_5} = \frac{1,25 \cdot F_{S_5}}{S_5} = \frac{1,25 \cdot 39\,655,2}{28 \cdot 10} = 177,1 \text{ MPa}$$

Ve výpočtech jsou jednotlivé sřížné síly vynásobené koeficientem bezpečnosti 1,25. Z výpočtů vyplývá, že pro dodržení podmínky $\sigma_{otl} \leq \sigma_{DOV}$, kdy $\sigma_{DOV} = 150 \text{ MPa}$, je nutné opěrnou desku kalit, tím se dosáhne hodnoty $\sigma_{DOV} = 1200 \text{ MPa}$, která je pro danou podmínku vyhovující.

5.5 Ekonomické využití materiálu

Varianta I: pás plechu odvíjený ze svitku (obr. 5.8):



Obr. 5.8 Pás plechu ze svitku [16]

Hmotnost svitku:

$$m_{sv} = \pi \cdot \frac{D_{sv}^2 - d_{sv}^2}{4} \cdot \check{s}_p \cdot \rho_{ocel} = \pi \cdot \frac{1200^2 - 450^2}{4} \cdot 107 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 816,4 \text{ kg}$$

D_{sv} – dle obr. 5.6 $\rightarrow D_{sv} = 1200 \text{ mm}$

d_{sv} – dle obr. 5.6 $\rightarrow d_{sv} = 450 \text{ mm}$

\check{s}_p – dle obr. 5.6 $\rightarrow \check{s}_p = 107 \text{ mm}$

Délka pásu svitku:

$$l_{sv} = \frac{m_{sv}}{\check{s}_p \cdot t \cdot \rho_{ocel}} = \frac{816,4}{107 \cdot 1,5 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6}} = 647\,975 \text{ mm}$$

Počet výstřížků ze svitku:

$$P_{V_{sv}} = \frac{l_{sv}}{K} = \frac{647\,975}{75} = 8\,639,66 \Rightarrow 8\,639 \text{ ks}$$

K – dle obr. 5.1 $\rightarrow K = 75 \text{ mm}$

Plocha jednoho výstřížku bez otvorů:

$$S_V = L_C \cdot b = 100 \cdot 70 - 2 \cdot (20 \cdot 9) - 15 \cdot 30 = 7000 - 360 - 450 = 6190 \text{ mm}^2 = 619 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

Využití materiálu:

$$\eta_I = \frac{S_V \cdot P_{V_{SV}}}{l_{SV} \cdot \dot{s}_p} \cdot 100 = \frac{6190 \cdot 8639}{647975 \cdot 107} \cdot 100 = 77,128 \%$$

Varianta II: podélně stříhané pásy z tabule plechu (obr. 5.9):

Počet celých pásů z tabule:

$$P_{P_I} = \frac{\text{šířka tabule plechu}}{\text{šířka pásu}} = \frac{1000}{107} = 9,34 \Rightarrow 9 \text{ ks}$$

Počet celých výstřížků z pásu:

$$P_{VP_I} = \frac{\text{délka tabule plechu}}{K} = \frac{2000}{75} = 26,66 \Rightarrow 26 \text{ ks}$$

Počet výstřížků z tabule:

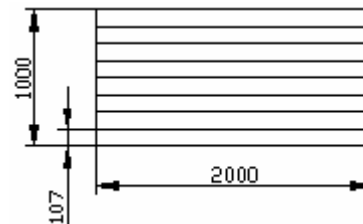
$$P_{V_{TAB_I}} = P_{P_I} \cdot P_{VP_I} = 9 \cdot 26 = 234 \text{ ks}$$

Plocha všech výstřížků z jedné tabule:

$$S_{V_{TAB_I}} = P_{V_{TAB_I}} \cdot S_V = 234 \cdot 619 \cdot 10^{-5} = 144,846 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Využití materiálu:

$$\eta_{II} = \frac{S_{V_{TAB_I}}}{S_{TAB}} \cdot 100 = \frac{144,846 \cdot 10^{-2}}{2} \cdot 100 = 72,42 \%$$



Obr. 5.9 Podélně stříhané pásy

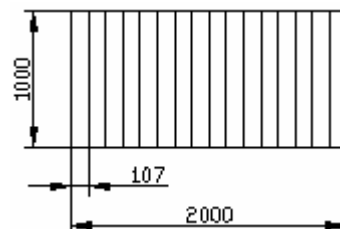
Varianta III: příčně stříhané pásy z tabule plechu (obr. 5.10):

Počet celých pásů z tabule:

$$P_{P_{II}} = \frac{\text{šířka tabule plechu}}{K} = \frac{1000}{75} = 13,33 \Rightarrow 13 \text{ ks}$$

Počet celých výstřížků z pásu:

$$P_{VP_{II}} = \frac{\text{délka tabule plechu}}{\text{šířka pásu}} = \frac{2000}{107} = 18,69 \Rightarrow 18 \text{ ks}$$



Obr. 5.10 Příčně stříhané pásy

Počet výstřížků z tabule:

$$P_{V_{TABII}} = P_{PI} \cdot P_{VP_{II}} = 13 \cdot 18 = 234 \text{ ks}$$

Plocha všech výstřížků z jedné tabule:

$$S_{V_{TABII}} = P_{V_{TABII}} \cdot S_V = 234 \cdot 619 \cdot 10^{-5} = 144,846 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Využití materiálu:

$$\eta_{III} = \frac{S_{V_{TABII}}}{S_{TAB}} \cdot 100 = \frac{144,846 \cdot 10^{-2}}{2} \cdot 100 = 72,42 \%$$

Pro výrobu byla zvolena varianta I.

5.6 Výpočet spotřeby materiálu

Spotřeba svitku:

$$P_{sv} = \frac{\text{počet všech výstřížků}}{P_{V_{sv}}} = \frac{120\,000}{8\,639} = 13,89 \Rightarrow 14 \text{ ks}$$

Celková hmotnost svitků:

$$m_C = m_{sv} \cdot P_{sv} = 816,4 \cdot 14 = 11\,429,6 \text{ kg}$$

Skutečná spotřeba:

$$P_s = m_C \cdot \eta_I = 11\,429,6 \cdot 0,77128 = 8\,815,42 \text{ kg}$$

Technologický odpad:

$$m_{ODP} = m_C \cdot (1 - \eta_I) = 11\,429,6 \cdot (1 - 0,77128) = 2\,614,18 \text{ kg}$$

5.7 Ekonomické hodnocení

5.7.1 Náklady na potřebný materiál

Náklady na pořízení svitků:

$$N_m = m_C \cdot C_m = 11\,429,6 \cdot 34,60 = 395\,464 \text{ Kč}$$

C_m – cena 1kg svitku je zjištěna prostřednictvím firmy Antreg a činí 34,60 Kč.

Zisk za prodej odpadového materiálu:

$$Z_{ODP} = m_{ODP} \cdot C_O = 2\,614,18 \cdot 3 = 7\,843 \text{ Kč}$$

C_O – cena 1kg odpadového materiálu je zjištěna prostřednictvím firmy Antreg a činí 3 Kč.

Celkové náklady na potřebný materiál:

$$N_C = N_m - Z_{ODP} = 395\,464 - 7\,843 = 387\,621 \text{ Kč}$$

5.7.2 Náklady na mzdy

Počet součástí vyrobených za 1 hodinu:

$$n_h = 60 \cdot n_z = 60 \cdot 40 = 2\,400 \text{ ks/hod.}$$

n_z – počet zdvihů lisovacího stroje \rightarrow volím $n_z = 40 \text{ min}^{-1}$

Počet součástí vyrobených za 1 směnu:

$$n_s = n_h \cdot t_s = 2\,400 \cdot 6,5 = 15\,600 \text{ ks}$$

t_s – výrobní čas práce zaměstnance $\rightarrow t_s = 6,5 \text{ hod.}$

Počet potřebných směn:

$$n_{ps} = \frac{P_{vys}}{n_s} = \frac{120\,000}{15\,600} = 7,69 \Rightarrow 8 \text{ směn}$$

Počet potřebných hodin:

$$n_{ph} = n_{ps} \cdot t_h = 8 \cdot 7,5 = 60 \text{ hod.}$$

t_h – odpracovaný čas zaměstnance ve směně (přípravný, výrobní a kontrolní čas) \rightarrow
 $\rightarrow t_h = 7,5 \text{ hod.}$

Náklady na mzdy:

$$n_m = n_{ph} \cdot 110 = 60 \cdot 110 = 6\,600 \text{ Kč}$$

Náklady na přímé mzdy:

$$n_{pm} = n_m \cdot SZP = 6\,600 \cdot 1,34 = 8\,844 \text{ Kč}$$

SZP – sociální pojištění činí 25 % a zdravotní pojištění 9 % $\rightarrow SZP = 34 \% = 1,34$

Celkové náklady na mzdy a režii:

$$N_{mr} = n_{pm} \cdot (Vr + Sr) = 8\,844 \cdot (3,9 + 1,2) = 45\,105 \text{ Kč}$$

Vr – výrobní režie $\rightarrow Vr = 390 \% = 3,9$

Sr – správní režie $\rightarrow Sr = 120 \% = 1,2$

5.7.3 Náklady na energii

Příkon lisovacího stroje: $P_p = 7 \text{ kW}$

Příkon ostatních strojů (odvíjecí zařízení, rovnačka, podavač): $P_{po} = 5 \text{ kW}$

Celkový příkon všech strojů: $P_{pc} = P_p + P_{po} = 7 + 5 = 12 \text{ kW}$

Celkové náklady na energii:

$$N_e = P_{pc} \cdot n_{ph} \cdot C_e = 12 \cdot 60 \cdot 4 = 2\,880 \text{ Kč}$$

C_e – cena elektrické energie je 4 Kč/hod.

5.7.4 Cena nástroje

Cena nástroje byla stanovena na základě výše cen podobných nástrojů a tato cena činí:

$$C_N = 275\,000 \text{ Kč}$$

5.7.5 Cena vyráběné součásti

Náklady na materiál součásti:

$$N_S = \frac{N_C}{P_{vys}} = \frac{387\,621}{120\,000} = 3,23 \text{ Kč}$$

Náklady na výrobu součásti:

$$N_{VS} = \frac{N_{mr} + C_N}{P_{vys}} + N_S = \frac{45\,105 + 275\,000}{120\,000} + 3,23 = 5,90 \text{ Kč}$$

Celková cena vyráběné součásti:

$$C_S = N_{VS} \cdot Z = 5,90 \cdot 1,3 = 7,67 \text{ Kč}$$

5.7.6 Bod zvratu

Fixní náklady:

$$F_N = N_{mr} + C_N - n_{pm} = 45\,105 + 275\,000 - 8\,844 = 311\,261 \text{ Kč}$$

Variabilní náklady:

$$V_N = N_S + \frac{n_{pm}}{P_{vys}} = 3,23 + \frac{8\,844}{120\,000} = 3,30 \text{ Kč}$$

Bod zvratu:

$$Z_V = \frac{F_N}{C_S - V_N} = \frac{311\,261}{7,67 - 3,30} = 71\,226,77 \Rightarrow 71\,227 \text{ ks}$$

5.8 Návrh stroje

Pro návrh vhodného lisovacího stroje se vycházelo z výpočtů velikostí střížných, ohybových a přidržovacích sil. Celková hodnota tvářecí síly je dána součtem těchto sil a je rovna hodnotě 475,78 kN. Dále byly pro volbu důležité rozměry navrhovaného nástroje.

Na základě těchto parametrů byl zvolen výstředníkový lis LEN 63 C, jehož základní parametry jsou v tab. 5.1.

Tab. 5.1 Základní parametry lisu LEN 63 C [22]

Technické údaje	Hodnota
Jmenovitá síla lisu	630 kN
Max. tloušťka zpracovávaného plechu	7 mm
Vyložení	315 mm
Sevření	335 mm
Přechod	355 mm
Plocha stolu	630 x 800 mm
Plocha beranu	280 x 450 mm
Výkon elektromotoru	3,5 / 7 kW



Obr. 5.11 Výstředníkový lis LEN [22]

6 Závěr

Podle zadání práce byl navržen sdružený stříhací a ohýbací nástroj pro výrobu regálové spojky z materiálu 11 321 (DC 01) tloušťky 1,5 mm. Tento profil bude sloužit pro spojení regálových výztuží.

Nástroj byl navržen jako šestistupňový. V prvních dvou krocích dochází k vystřížení výchozí, rovinné podoby výrobku. Následují dva kroky ohýbání, kdy je díl vytvarován do požadovaného tvaru. Na závěr, je ve dvou operacích, hotový výrobek odstřižen z pásu svitku a padá vlastní vahou do výstupního zásobníku.

S ohledem na ekonomické využití materiálu je jako výchozího polotovaru využito pásu plechu ve formě svitku, který je pomocí přídavných zařízení, jako je odvíjecí zařízení, rovnačka a podavač, odvíjen a podáván do výrobního nástroje. Ekonomické využití je oproti polotovaru ve formě nastříhaných pásů z tabule plechu přibližně o 5 % vyšší. Přesnost založení pásu plechu z nového svitku je zajištěna načínacím dorazem.

Pro zajištění bezpečnosti obsluhy, je nástroj opatřen bezpečnostním krytem mezi pohyblivou a pevnou částí nástroje.

Nástroj je opatřen závitovými otvory pro zašroubování manipulačních čepů. Vzhledem k hmotnosti nástroje je ruční manipulace téměř vyloučena. Pro založení, či vyjmutí nástroje z lisu je nutné hydraulické či mechanické zařízení.

Vlastnímu předání nástroje do výroby předchází testování nástroje. V rámci tohoto testu je vyrobeno několik desítek zkušebních vzorků, které jsou následně kontrolovány a měřeny. Na základě výsledků měření je určena kvalita výrobního procesu. Je – li shledána jako dostačující, dochází k předání nástroje do výroby.

Pro výrobu na tomto nástroji je vytvořena ekonomická analýza, jež zahrnuje výrobní náklady na zhotovení sdruženého nástroje, dále energetické, materiálové a mzdové náklady výroby. Cena finálního výrobku je stanovena na hodnotu 7,67 Kč, která zahrnuje i uvažovaný zisk společnosti ve výši 30 %. Bod zvratu nastává při produkci 71 227 ks, kdy se výroba na tomto nástroji stává ziskovou. Ve srovnání se stávající technologií výroby je navrhnuté řešení vzhledem k současné ceně součástí, která činí přibližně 12 Kč, ekonomičtější. To je dáno zejména menší časovou náročností výroby.

Seznam použité literatury

- [1] BAREŠ, Karel, et al. *Lisování*. Praha: SNTL, 1971. 542 s. DT 621.979.
- [2] BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1983. 216 s. DT 621.961.02.
- [3] ČSN 22 6015. *Stříhadla a střížné vřet. Směrnice pro výpočet a konstrukci*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1977.
- [4] ČSN 22 6060. *Dorazy*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1976.
- [5] ČSN 22 6264. *Stopky lisovacích nástrojů pro práci za studena*. Praha: Úřad pro normalizaci, 1959.
- [6] ČSN 22 7340-90. *Ohýbadla. Všeobecné požadavky na konstrukci a výpočet*. Praha: Český normalizační institut, 1990.
- [7] DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: Plošné a objemové tváření*. 3. vyd. Brno: CERM, 2003. 169 s. ISBN 80-214-2340-4.
- [8] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: CERM, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [9] KOTOUČ, Jiří et al. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1993. 349 s. ISBN 80-01-01003-1.
- [10] *Klöckner Stahlhandel CZ* [online]. [cit. 2011-03-01]. Porovnávací tabulka jakostí plechů válcovaných za tepla. Dostupné z WWW: <<http://www.stahlhandel.cz/data/tabulky1.htm>>.
- [11] *Kovona system a.s.* [online]. [cit. 2011-02-18]. Strojní park. Dostupné z WWW: <<http://www.kovona.cz/web/structure/strojni-park-696.html#>>>.
- [12] *Kovoobráběcí a tvářecí stroje* [online]. [cit. 2011-02-18]. APJ Praha. Dostupné z WWW: <<http://www.apj.cz/pouzite-stroje/lisy-vystrednikove/vystrednikovy-lis-len-63c>>.
- [13] LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 3. dopl. vyd. Praha: Scientia, 1999. 985 s. ISBN 80-7183-164-6.
- [14] LENFELD, Petr. *Technologie II: Tváření kovů, zpracování plastů* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, [cit. 2011-02-18]. Dostupné z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm>.
- [15] MACHEK, Václav et al. *Zpracování tenkých plechů*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1982. 272 s. DT 621.98.
- [16] NOVÁ HUŤ - Válcovna za studena, spol. s r.o. *Katalog pásové oceli válcované za studena* [online]. Ostrava-Vítkovice: [b. m.]: [b. n.], [b. r.] [cit. 2011-05-08]. Dostupné z WWW: <http://www.valcovna-nh.cz/download/cz/katalog_cz.pdf>.
- [17] NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje: Část I - tváření*. 2. vyd. Brno: Rektorát Vysokého učení technické v Brně, 1987. 112 s. 55 - 593/1 - 87.

- [18] NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
- [19] NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1980. 216 s. DT 621.96.
- [20] ROMANOVSKIJ, V.P. *Příručka pro lisování za studena*. Praha: SNTL, 1959. 540 s. DT 621.986.
- [21] *Steinel Normalien: Pružiny a pružné elementy*. [s.l.]: [s.n.], 2011. 52 s.
- [22] *TOMA INDUSTRIES* [online]. 2006 [cit. 2011-03-03]. Výstředníkové lisy. Dostupné z WWW: <http://www.toma.sk/vyrprog_produkty_vyslisy_len.htm>.
- [23] TSCHÄTSCH, Heinz. *Handbuch Umformtechnik: Arbeitsverfahren, Maschinen, Werkzeuge*. 4 ed. Darmstadt: Druckhaus Darmstadt GmbH., Germany, 1993. 351 s. ISBN 3-87807-148-5.

Seznam použitých symbolů a zkratek

A	tažnost	[%]
A_o	ohybová práce pro U – ohyb	[J]
A_S	střižná práce	[J]
A_V	ohybová práce pro V – ohyb	[J]
A_{V1}, A_{V2}, A_{V3}	jednotlivé ohybové práce pro výrobu součástí	[J]
A_{VC}	celková ohybová práce	[J]
b	šířka ohýbaného materiálu	[mm]
b_1, b_{2a}, b_{2b}, b_3	šířky ohýbaných částí součástí	[mm]
C_e	cena elektrické energie	[Kč/kWh]
C_m	cena 1 kg materiálu	[Kč]
C_N	cena výrobního nástroje	[Kč]
C_o	cena 1 kg odpadu	[Kč]
C_S	celková cena vyráběné součásti	[Kč]
c	součinitel závislý na druhu stříhání	[-]
c_o	koeficient	[-]
c_U	koeficient vlivu tření	[-]
D_{sv}	vnější průměr svitku	[mm]
d_{sv}	vnitřní průměr svitku	[mm]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
F_{h1}, F_{h2}, F_{h3}	střižné síly ve směru horizontálním	[N]
F_N	fixní náklady	[Kč]
F_o	ohybová síla U – ohybu	[N]
F_P	síla přidržovače	[N]
F_{P1}, F_{P2}	síly přidržovače pro třetí a čtvrtou operaci	[N]
F_{PR}	síla vyvozená pružinou	[N]
F_S	střižná síla	[N]
$F_{S_1}, F_{S_2}, F_{S_3}, F_{S_4}, F_{S_5}$	střižné síly jednotlivých otvorů	[N]
F_{Sc}	celková střižná síla	[N]
$F_{S\max}$	maximální střižná síla	[N]
F_V	ohybová síla V – ohybu	[N]
F_{V1}, F_{V2}, F_{V3}	střižné síly ve směru vertikálním	[N]
$F_{V_I}, F_{V_{II}}, F_{V_{IIa}}, F_{V_{IIb}}, F_{V_{III}}$	ohybové síly pro výrobu součástí	[N]
F_1, F_2, F_3	střižné síly v ose y	[N]
F'_1, F'_2, F'_3	střižné síly v ose x	[N]
f	součinitel tření	[-]
h	zdvih	[mm]
h_1, h_2, h_3	jednotlivé zdvihy při ohybu součástí	[mm]
h_s	hloubka vniknutí střižníku	[mm]
I_3, I_4, I_{4a}, I_5	kvadratické momenty	[mm ⁴]
K	krok	[mm]
k	koeficient hloubky vtlačení	[mm]
k_n	součinitel určující polohu neutrální plochy	[-]
k_V	součinitel respektující průběh ohýbací síly	[-]
L_c	celková délka rozvinuté součásti	[mm]
l	délka stříhu	[mm]
l_C	obvod všech stříhaných částí	[mm]
$l_{krit_3}, l_{krit_4}, l_{krit_{4a}}, l_{krit_5}$	kritické délky střižníků	[mm]

l_o	délka ohnutého úseku v neutrální ploše	[mm]
l_r	rovinný úsek ohýbané součásti	[mm]
l_{sv}	délka pásu svitku	[mm]
l_u, l_v	vzdálenost mezi opěrami ohybnice	[mm]
l_1, l_2, l_3, l_4	rozvinuté délky ohýbané součásti	[mm]
m	střížná mezera	[mm]
m_c	celková hmotnost svitků	[kg]
m_{ODP}	technologický odpad	[kg]
m_{sv}	hmotnost svitku	[kg]
N_c	celkové náklady na materiál	[Kč]
N_e	náklady na energii	[Kč]
N_m	náklady na materiál	[Kč]
N_{mr}	celkové náklady na mzdy a režie	[Kč]
N_s	náklady na materiál součásti	[Kč]
N_{vs}	náklady na výrobu součásti	[Kč]
n	koeficient zahrnující opotřebení nástroje	[-]
n_h	počet součástí vyrobených za 1 hodinu	[ks/hod]
n_m	náklady na mzdy	[Kč]
n_{ph}	počet potřebných hodin	[hod]
n_{pm}	náklady na přímé mzdy	[Kč]
n_{ps}	počet potřebných směn	[směna]
n_s	počet součástí vyrobených za 1 hodinu	[ks]
n_z	počet zdvihů lisovacího stroje	[min ⁻¹]
o_1, o_2, o_3, o_4, o_5	obvod stříhaných částí	[mm]
P_h, P_v	pól	[-]
P_{PI}, P_{PII}	počet celých pásů z tabule	[ks]
P_p	příkon lisovacího stroje	[kW]
P_{pc}	celkový příkon všech strojů	[kW]
P_{po}	příkon přídatných zařízení	[kW]
P_s	skutečná spotřeba materiálu	[kg]
P_{sv}	spotřeba svitku	[ks]
P_{VPI}, P_{VPII}	počet celých výstřižků z pásu	[ks]
P_{Vsv}	počet výstřižků ze svitku	[ks]
P_{VTABI}, P_{VTABII}	počet výstřižků z tabule	[ks]
P_{vys}	počet výstřižků	[ks]
R_e	mez kluzu materiálu	[MPa]
R_m	mez pevnosti materiálu v tahu	[MPa]
R_{max}	maximální poloměr ohybu	[mm]
R_{min}	minimální poloměr ohybu	[mm]
R_o	poloměr ohybu	[mm]
R_l	poloměr ohybu po odpružení	[mm]
r_m	poloměr zaoblení pevné čelisti	[mm]
S	plocha stříhu	[mm ²]
S_r	správní režie	[-]
S_{TAB}	plocha tabule	[m ²]
S_v	plocha výstřižku	[mm ²]
S_{VTABI}, S_{VTABII}	plocha všech výstřižků z jedné tabule	[mm ²]
SZP	sociální a zdravotní pojištění	[%]
S_1, S_2, S_3	plochy střížníků	[mm ²]
$š_p$	šířka pásu svitku	[mm]

t	tloušťka stříhaného a ohýbaného materiálu	[mm]
t_h	odpracovaný čas ve směně	[hod]
t_s	výrobní čas ve směně	[hod]
t_l	zúžená tloušťka ohýbaného materiálu	[mm]
t_{\max}	tloušťka materiálu zvětšená a horní úchylku	[mm]
V_N	variabilní náklady	[Kč]
V_r	výrobní režie	[-]
v	střižná vůle	[mm]
v_o	vůle mezi pevnou a pohyblivou čelistí	[mm]
X_t, Y_t	souřadnice výslednice sil	[mm]
x	velikost posunutí neutrální plochy	[mm]
Z	zisk	[-]
Z_{ODP}	zisk za prodej odpadového materiálu	[Kč]
Z_V	bod zvratu	[ks]
Z_r	součinitel rozšíření původního průřezu	[-]
Z_z	součinitel ztenčení	[-]
α	úhel ohybu	[°]
α_1	výsledný úhel po odpružení	[°]
β	úhel odpružení	[°]
γ	úhel ohnutého úseku	[°]
$\eta_I, \eta_{II}, \eta_{III}$	využití materiálu	[%]
Δt	zúžení	[mm]
$\varepsilon_{t\max}$	poměrná deformace	[mm]
ρ	poloměr neutrální plochy	[mm]
ρ_{ocel}	hustota oceli	[kg·m ⁻³]
σ_{DOV}	dovolené namáhání	[MPa]
$\sigma_{otl_1}, \sigma_{otl_2}, \sigma_{otl_3}$	namáhání v tlaku	[MPa]
σ_1	hlavní tahové napětí	[MPa]
σ_3	hlavní tlakové napětí	[MPa]
τ_{ps}	pevnost materiálu ve stříhu	[MPa]

Seznam příloh

Příloha č. 1 – Vzdálenost kruhových a obdélníkových otvorů od okraje výstřižku

Příloha č. 2 – Hloubka součinitele vtlačení do materiálu

Příloha č. 3 – Označení a vlastnosti zpracovávaného materiálu

Příloha č. 4 – Výkres součásti

Příloha č. 5 – Výkres sestavy nástroje

Příloha č. 6 – Výkres ohybníku I

Příloha č. 7 – Výkres ohybníku II

Příloha č. 8 – Výkres ohybníku III

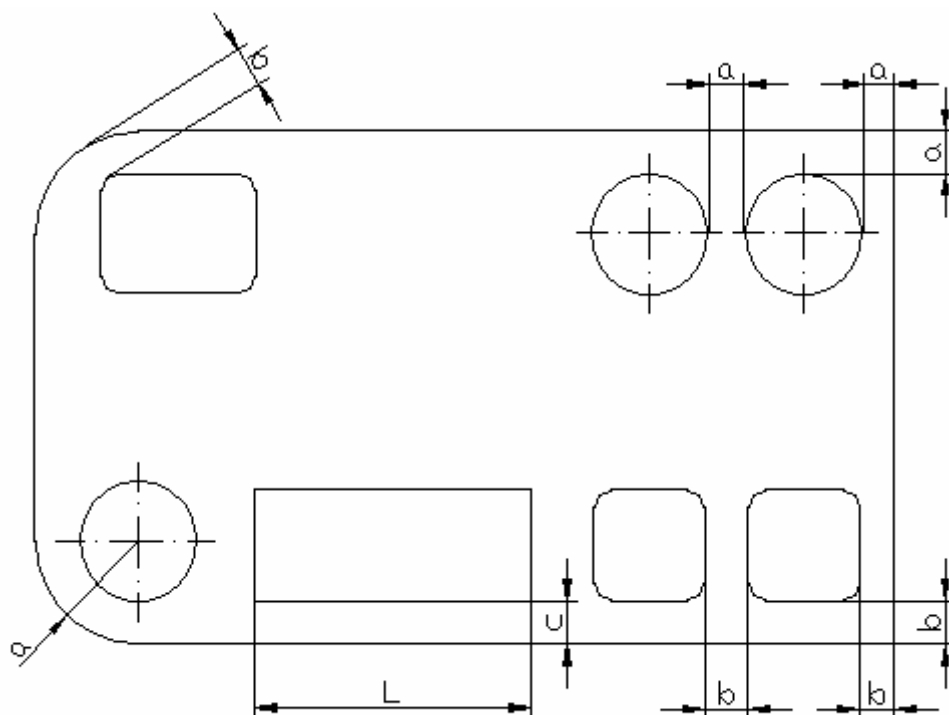
Příloha č. 9 – Výkres ohybnice I

Příloha č. 10 – Výkres ohybnice II

Příloha č. 1

Vzdálenost kruhových a obdélníkových otvorů od okraje výstřižku [2]

Tloušťka plechu	Rozměr a [mm]	Rozměr b [mm]	Rozměr c [mm]			
			Pro šířku otvoru L [mm]			
			5 až 50	50 až 100	100 až 200	nad 200
do 1	1,5	2,5	3	8	13	20
1 ÷ 1,6	2,4	3,2	4,5	8	13	20
1,6 ÷ 2	3	4	6	10	14	25
2 ÷ 2,5	3,7	4,5	7	10	16	25
2,5 ÷ 3,2	4,8	5	8	13	20	28
3,2 ÷ 4	6	6	9	13	20	28
4 ÷ 5	7	8	10	16	22	32



Příloha č. 2

Hloubka součinitele vtlačení do materiálu [2]

Materiál	Tloušťka materiálu t [mm]			
	do 1	1 ÷ 2	2 ÷ 4	nad 4
Ocel měkká $\tau_{ps} = (250 \div 350)$ MPa	0,70 ÷ 0,65	0,65 ÷ 0,60	0,60 ÷ 0,50	0,45 ÷ 0,35
Ocel středně tvrdá $\tau_{ps} = (350 \div 500)$ MPa	0,60 ÷ 0,55	0,55 ÷ 0,50	0,50 ÷ 0,42	0,40
Ocel tvrdá $\tau_{ps} = (500 \div 700)$ MPa	0,45 ÷ 0,42	0,42 ÷ 0,38	0,38 ÷ 0,33	0,30 ÷ 0,20
Hliník, měď (žíhané)	0,75 ÷ 0,70	0,70 ÷ 0,65	0,65 ÷ 0,55	0,50

Příloha č. 3

Označení a vlastnosti zpracovávaného materiálu [10]

Označení oceli:

ČSN	11 321
EN	DC01

Chemické složení:

Uhlík	max. 0,12 %
Mangan	max. 0,60 %
Fosfor	0,045 %
Síra	0,045 %

Mechanické vlastnosti:

Pevnost v tahu	$R_m = 270 \div 410 \text{ MPa}$
Max. mez kluzu	$R_e = 280 \text{ MPa}$
Tažnost	$A_{80} = \text{min. } 28 \%$